

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Akademický rok 2012/2013

Jiří KOTTEK

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Výrobní stroje a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční úprava C - rámu hydraulického lisu

Autor: **Jiří KOTTEK**

Vedoucí práce: **Ing. Václav KUBEC, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kottek	Jméno Jiří		
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubec, Ph.D.	Jméno Václav		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční úprava C-rámu hydraulického lisu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	37	TEXTOVÁ ČÁST	24	GRAFICKÁ ČÁST	13
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje text týkající se hydraulických lisů, na který navazuje problematika zabývající se deformací rámu hydraulického lisu 40t. Zatížení rámu lisu je simulováno pomocí softwaru Siemens NX Unigraphics. Na základě výsledků získaných numerickou výpočtovou metodu je navrženo několik variant možných úprav rámu lisu pro zvýšení jeho deformační stability. Možné úpravy konstrukce se snaží následovat jednoduchost a účelnost řešení s ohledem na snížení deformací v kritických místech rámu hydraulického lisu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Tvářecí stroj, hydraulický lis, úprava konstrukce, CAD, MKP</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Kottek	Name Jíří	
FIELD OF TUDY	2301R016 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubec, Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design Variation of C-Frame Hydraulic Press		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machne Design	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	---------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALY	37	TEXT PART	24	GRAPHICAL PART	13
---------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis deals with hydraulic presses, which are followed by solving problem of frame deformation of hydraulic press 40t. The loading of press frame is simulated by using Siemens NX Unigraphics software. Based on the results of numeric FEM method are designed several modification variants of press frame for increasing manufacturing accuracy of the machine. The aim of all design modifications is to follow simple and effective solution.</p>
KEY WORDS	Forming machine, hydraulic press, design modification, CAD, FEM

PODĚKOVÁNÍ

Tato bakalářská práce byla podpořena formou odborné konzultace Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.3.00/35.0048 „Popularizace výzkumu a vývoje ve strojním inženýrství a jeho výsledků (POPULÁR)“

Odborným konzultantem byl Ing. Václav Kubec, Ph.D., kterému děkuji za poskytnuté konzultace, kvalifikované rady a odbornou pomoc při sepsání této BP. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům firmy COMTES FHT a.s. za to, že mi umožnili přístup do jejich firmy, a za jejich ochotu při zapůjčení výpočetní techniky pro tvorbu 3D modelu lisu.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Tvářecí stroje.....	3
2.1	Rozdělení tvářecích strojů	3
2.1.1	Silové stroje.....	3
2.1.2	Zdvihové stroje.....	4
2.1.3	Energetické stroje	4
2.1.4	Rozdělení podle pohybu nástroje	4
2.2	Pracovní prostor tvářecích strojů.....	5
3	Tváření	6
3.1	Princip tváření.....	6
4	Hydraulické tvářecí stroje	7
4.1	Rozdělení lisů	7
4.2	Přehled hydraulických lisů	8
4.2.1	Rozdělení lisů podle umístění pohonu	8
4.2.2	Rozdělení lisů podle orientace rámu	9
4.3	Značení tvářecích strojů.....	11
4.4	Princip hydraulického mechanismu.....	12
4.5	Pohon hydraulických lisů	13
4.5.1	Hydraulické lisy s přímým pohonem	14
4.5.2	Hydraulické lisy s akumulátorovým pohonem.....	14
4.5.3	Hydraulické lisy s multiplikátorovým pohonem.....	15
4.5.4	Hydraulické lisy s kombinovaným pohonem.....	16
4.6	Přednosti a nedostatky hydraulických tvářecích strojů	16
5	Rámy strojů.....	17
5.1	Materiály pro stavbu rámů.....	17
5.2	Typy rámů tvářecích strojů.....	17
5.2.1	Otevřené rámy strojů.....	17
5.2.2	Uzavřené rámy strojů	18
6	Přesnost práce tvářecích strojů.....	19
6.1.1	Statická tuhost	19
6.1.2	Dynamická stabilita.....	20
6.1.3	Teplotní stabilita.....	20
7	Hydraulický lis 40t.....	21
7.1	Analýza zatěžování.....	22
7.1.1	Výpočtový model	23
7.1.2	Možnosti sestavení výpočtového modelu	23
7.1.3	Popis výpočtového modelu	24
7.1.4	Definování okrajových podmínek.....	25
7.2	Výsledky výpočtu.....	28
7.2.1	Redukované napětí	28
7.2.2	Posunutí v uzlových bodech.....	29
7.3	Hodnocení výsledků výpočtu	30
8	Návrhy optimalizačních řešení.....	31
8.1	První varianta.....	32
8.2	Druhá varianta	33
8.3	Třetí varianta.....	34
8.4	Čtvrtá varianta	35

1 Úvod

V dnešním vyspělém světě plným technických vymožeností se lze prakticky denně setkat s produkty strojní výroby. Běžný člověk si mnohdy ani neuvědomuje, že předměty které ho obklopují, musely být určitým způsobem vyrobeny a bere je jako samozřejmost. Přesto to byli právě lidé, kteří vymysleli a stále vymýšlejí způsoby jak co nejefektivněji vyrobit daný produkt za použití dostupných zdrojů materiálu, strojů a mechanismů, a ušetřit tak čas i finance a učinit tím výrobek konkurenceschopný.

Celá řada mechanismů usnadňující výrobu se značně rozšířila během průmyslové revoluce v 18 a 19. století, kdy vznikalo velké množství vynálezů. Tehdy došlo k značnému technickému pokroku a od ruční kusové výroby se přecházelo ke strojní sériové výrobě. Nejslavnějším objevem se stal parní stroj, kterého se začalo využívat také k pohonu mohutných výrobních strojů a došlo tak k velkému rozvoji těžkého průmyslu. Parní stroj se v oblasti tvářecích strojů využil jako první u reverzní válcovací stolice a následně byl v roce 1839 využit k pohonu mohutného a silově vysoce výkonného parního bucharu, jakožto mechanismu sloužícího ke zvedání beranu.[1] Přestože se hydraulické tvářecí stroje objevují již koncem 18. století, k jejich velkému rozvoji dochází až o století později. Jedním z prvních hydraulických strojů byl hydraulický lis s ručním čerpadlem, který zkonstruoval Angličan Joseph Bramah a v roce 1795 si jej nechal patentovat.[2]

Hydraulické lisy prošly od jejich počátku až do současnosti značným vývojem, především co se týká jejich konstrukce, ovšem jejich funkční princip se nezměnil. Důvod, proč se tváření kovů začalo provádět strojně, je zřejmý. Bylo to jednak kvůli ulehčení fyzické námahy kováře, zlepšení produktivity práce, ale především z důvodu potřeby tvářet materiál značných rozměrů. Bez použití mohutného tvářecího stroje by nebylo v lidských silách prokovat například obrovské klikové hřídele zaoceánských lodí.

Bakalářská práce se zabývá podstatou hydraulických lisů jejich základními konstrukčními typy a vlastnostmi. Hlavním cílem této práce je zmapovat stávající konstrukční stav hydraulického tvářecího lisu používaného ve firmě COMTES FHT a.s., provést výpočtovou analýzu tohoto zařízení a navrhnout možnosti úpravy konstrukce pro zvýšení pracovní přesnosti stroje.

V první části tato práce pojednává o základních typech tvářecích strojů a jejich rozdělení podle několika hledisek. Pro lepší orientaci v této oblasti jsou zde charakterizovány jednotlivé druhy strojů a dále je zde porovnán jejich pracovní prostor z obecného hlediska. Další kapitola krátce zmiňuje podstatu tváření, jejímž cílem je přiblížit a připomenout děje odehrávající se uvnitř tvářeného materiálu. Následující kapitoly se věnují již hydraulickým tvářecím strojům, kde je na úvod zpracováno schéma rozdělení a třídění lisů. Poté následuje přehled základních typů hydraulických lisů vzhledem k jejich konstrukci včetně ilustračních obrázků. Dále je pozornost věnována značení a pohonu tvářecích strojů, na níž navazuje hlavní kapitola týkající se rámu strojů, jejich požadavků a jejich rozdělení. Druhá část této práce začíná šestou kapitolou a zaměřuje se na konkrétní hydraulický lis, který je předmětem vlastní zatěžovací analýzy.

2 Tvářecí stroje

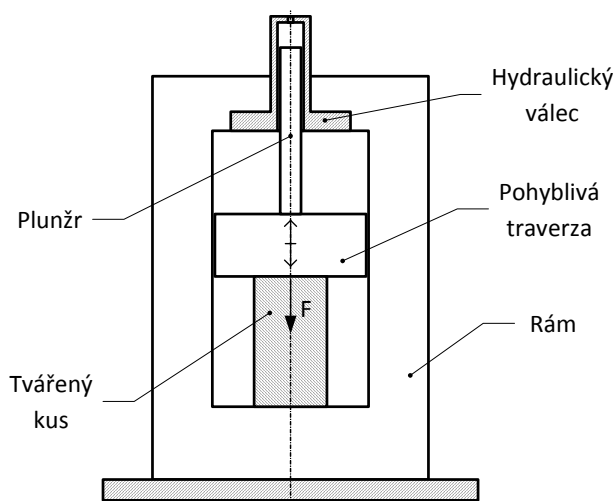
V současné době se v průmyslu používá moderních číslicově řízených strojů, které jsou zejména u sériové výroby plně automatizované. Jejich využití se netýká pouze obráběcích strojů, kde jsou využívány nejčastěji, ale mají své uplatnění také u tvářecích strojů. Přesto se i dnes stále často setkáváme se staršími tvářecími stroji, které nebyly modernizovány a díky jejich nízké poruchovosti je možné je stále používat.

Mezi nejčastěji používané tvářecí stroje v průmyslu patří lisy a buchary. Tyto stroje existují v mnoha různých provedeních i velikostech a přenášejí sílu na tvářený materiál několika způsoby. Podle způsobu přenosu deformační energie do tvářeného materiálu se zavedlo rozdělení strojů na stroje silové, zdvihové a energetické. Jedná se o rozdělení do něhož lze zařadit většinu obvyklých tvářecích strojů, avšak existují také tvářecí stroje u kterých nelze jednoznačně určit do které skupiny je zařadit. Toto rozdělení jen dalším z mnoha pohledů srovnávající vlastností tvářecích strojů. Jiný způsob rozčlenění strojů je například podle pohybu nástroje, podle konstrukce rámu, technologie použití, druhu pohonu a způsobu vyvození síly. Jednotlivá rozdělení budou v následujících kapitolách podrobněji rozebrána.

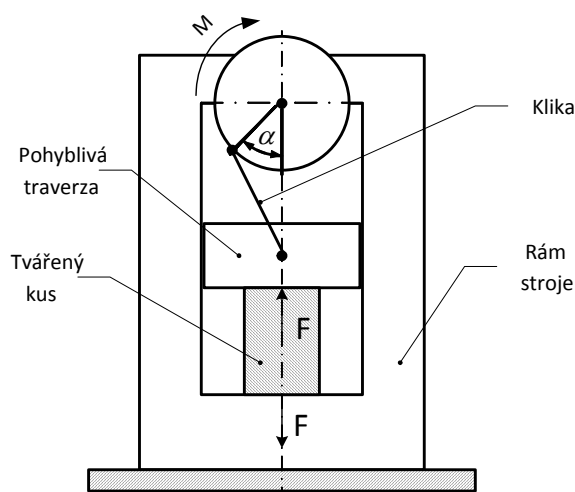
2.1 Rozdělení tvářecích strojů

2.1.1 Silové stroje

Typickým představitelem silových strojů je hydraulický lis, jehož kinematické schéma znázorňuje obr. 2.1. Charakteristickým znakem hydraulických lisů z hlediska silového působení je to, že tvářecí síla nástroje je konstantní v průběhu celého jeho zdvihu, avšak přetvárný odpor tvářeného kusu se v průběhu deformace může zvyšovat - to závisí na tom, zda se v materiálu odehrávají tzv. uzdravovací pochody či nikoli. Protože maximální síla působící na tvářený materiál je konstantní, je i konstantní síla namáhající rám stroje, který ji musí zachycovat. Další vlastností hydraulických lisů je možnost nastavit velikost zdvihu nástroje v libovolném místě jeho pohybu, a plynulá regulace rychlosti jeho pohybu.



Obr. 2.1 : Schéma hydraulického lisu



Obr. 2.2 : Schéma klikového lisu

2.1.2 Zdvihové stroje

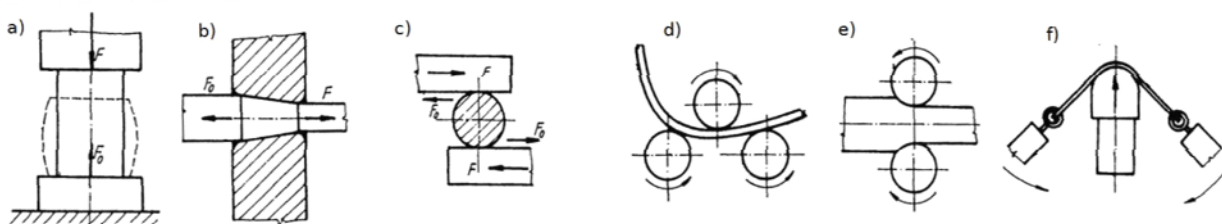
Druhým typem strojů jsou stroje zdvihové, mezi které se řadí mechanické lisy využívající pro převod a vytvoření požadované síly na beranu řadu mechanismů. Součástí převodového ústrojí je například klikový, kloubový, kolenový či výstředníkový mechanismus. Na rozdíl od hydraulických lisů je u těchto strojů velikost tvářecí síly závislá na okamžité poloze hnacího ústrojí. Na obrázku 2.2 je zobrazeno schéma klikového lisu u kterého se maximální tvářecí síly beranu dosahuje v horní a spodní úvratí. U klikového lisu, jakožto zástupce mechanických lisů, u kterého si lze všimnout konstrukční podobnosti rámu s rámem hydraulického lisu na obrázku vlevo. Oba rámy jsou uzavřené a mají tvar písmena O. Vzájemná podobnost konstrukce rámu se však netýká jen těchto typů lisů, ale platí zcela obecně pro rámy výrobních strojů.

2.1.3 Energetické stroje

Pod pojmem energetické stroje se v oblasti tváření rozumí stroje využívající kinetické energie nástroje nebo mechanismu s ním spojeným. Patří mezi ně především buchary, jejichž nástroj se nazývá beran. U padacích bucharů je velikost tvářecí síly dána celkovou hybností beranu, neboli hmotností vlastního beranu a dopadovou rychlostí. Uvažujeme-li beran padající volným pádem, který není nijak urychlen, pak jeho dopadová rychlost závisí pouze na tíhovém zrychlení a na výšce ze které padá volným pádem (nezávisí na jeho hmotnosti). Hmotnost sice neovlivňuje velikost dopadové rychlosti, nicméně hraje významnou roli při určování hybnosti, a tedy tvářecí síly. Lze konstatovat, že padací buchar je právem zařazen do energetických strojů, jelikož využívá kinetické energie beranu, kterou získá přeměnou z potenciální energie, jež následně způsobí deformaci a deformační zpevnění materiálu. Kinetická energie však nemusí nutně vznikat pouze z potenciální energie. Například roztočený setrvačnický vřetenový lis akumuluje kinetickou energii, kterou mu dodal motor hnacího ústrojí a přeměňuje ji pomocí šroubu na přetvárnou práci. Jak je vidět, mezi energetické stroje nemusí nutně patřit pouze buchary, ale lze k nim přiřadit také vřetenový lis, což potvrzuje literatura.[3 str. 24]

2.1.4 Rozdělení podle pohybu nástroje

Dalším způsobem jak lze tvářecí stroje rozdělit je podle relativního pohybu nástroje vůči tvářenému materiálu. Rozlišují se stroje s přímočarým pohybem nástroje - obrázek 2.3 a) až c) a stroje s rotačním nebo obecným pohybem nástroje d) až f). Nutno podotknout, že válcovací stolice mohou mít nástroj pohybující se u některého stroje přímočaře, například jedná-li se o rovinná kovádla obr. 2.3 c), a u jiného to mohou být dvojice rotujících kotoučů obr. 2.3 e). Mezi stroje s přímočarým pohybem nástroje řadíme například různé typy lisů nebo některé válcovací stroje. Zakružovací, ohýbací a válcovací stroje s válcovým nástrojem jsou stroje s rotačním pohybem nástroje. Do poslední skupiny s obecným pohybem nástroje náleží především ohýbací stroje obr. 2.3 f).[2]



Obr. 2.3 : Rozdělení podle pohybu nástroje [2]

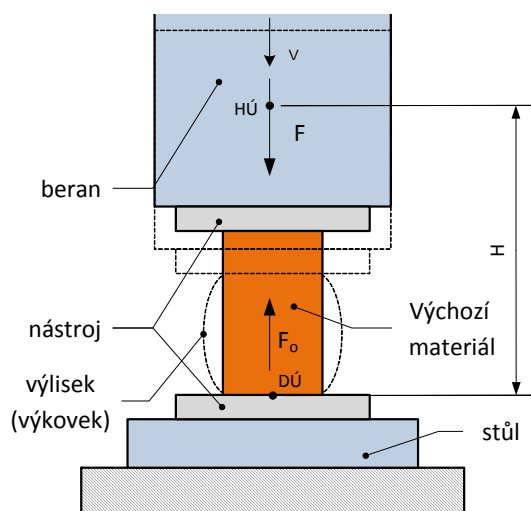
2.2 Pracovní prostor tvářecích strojů

Pokud vzájemně porovnáme pracovní prostor svislých tvářecích strojů s přímočarým pohybem nástroje z hlediska vertikální polohy, lze dojít k závěru, že základní uspořádání pracovního prostoru je ve svislém směru u všech tvářecích strojů stejné a znázorňuje jej obrázek 2.4. Naopak odlišné uspořádání může být v horizontální rovině.

Nejprve se zaměříme na uspořádání pracovního prostoru ve svislém směru, kde horní díl nástroje upevněný na beranu vždy vykonává přímočarý vratný pohyb v rozsahu mezi horní a dolní úvratí. Pohyb nástroje může být buď rovnoměrný, nebo urychlený. Rozsah pohybu nástroje se nazývá zdvih a jeho velikost je na obrázku znázorněna výškou H . Velikost zdvihu lze u některých strojů nastavit podle požadavků tvářecího procesu. Pohyb nástroje a vychýlení výchozího materiálu je na následujícím obrázku naznačen čárkovaně.

Tvářený materiál spočívá na spodním nástroji a během deformace klade vůči hornímu a spodnímu nástroji přetvárný odpor, který musí nástroj překonávat tvářecí silou F . Velikost přetvárného odporu závisí především na tvářecí teplotě poměrné rychlosti tváření, velikosti tření mezi nástrojem a materiálem, stupni deformace, rozměrech a tvaru materiálu.

Jakmile dojde ke kontaktu pohybujícího se beranu s výchozím materiálem a napětí v materiálu překročí odpovídající mez kluzu, začne se výchozí materiál plasticky deformovat. Nástroj pro volné kování se nazývá kovadlo je vždy připevněno k pracovnímu stolu. Kovadlo může být například rovné, oblé, kombinované nebo úhlové. U rovného kovadla, jak je vidět z obrázku 2.4, dochází k vybočení tvářeného materiálu do stran. Tvářený materiál se však zpravidla při každém zdvihu nástroje postupně otáčí a posouvá, a tím dochází k jeho rovnoměrnému prokování. Po dokončení tváření polotovaru daného materiálu se z něj stává hotový výrobek zvaný výkovek či výlisek. U objemového tváření materiálu se často ten samý hotový výkovek stává polotovarem pro následné zpracování.



Obr. 2.4 : Uspořádání pracovního prostoru [2]

Při pohledu do horizontální roviny pracovního prostoru se uspořádání jednotlivých strojů může vzájemně lišit, a to v závislosti na dané výrobní operaci a technologii výroby. Pokud se jedná o zápusťkové kování, pak nástrojem je vlastní zápusťka. Přesně stanovený objem materiálu se pak následně formuje do dutiny zápusťky. Tvarová zápusťka bývá obvykle dvoudílná. První díl zápusťky je upnut na pohyblivou traverzu stroje a druhý díl je připevněn na pracovní stůl. Po vykonání pracovního cyklu stroje vzniká hotový výlisek či výkovek. Odlišný pracovní prostor by byl také pro protlačování a tažení plechu, protahování nebo zužování.

3 Tvářeni

Tváření je proces mechanického zpracování kovů, jehož smyslem je využít nejen plasticitu materiálu ale často také fyzikální změny materiálu, probíhající během tvářecího procesu. Prakticky každý materiál má schopnost plastické deformace, to znamená, že je schopný měnit svůj tvar vlivem působení vnějších sil, aniž by došlo k porušení celistvosti materiálu. Během tvářeni materiálu nedochází k porušování vláken ale pouze k jejich plynulé deformaci a tím získávají součásti vyrobené tvářením větší pevnost. V průběhu ohřevu a chladnutí probíhají uvnitř tvářeného materiálu určité změny fyzikálních vlastností, které značně ovlivňují proces tvářeni. Mezi tyto změny patří například zvyšující se tvárnost materiálu s rostoucí teplotou, změna uspořádání krystalové mříže a také změna magnetičnosti.

Tváření jako takové je obecný pojem a zahrnuje velký rozsah operací. Kromě kování a lisování jimi jsou také válcování, tvarování, protlačování, tažení a mnoho dalších...Tvářeni se rozlišuje plošné a objemové. Objemové tvářeni spočívá v přeskupování celého objemu polotovaru ve směru všech tří os za účelem dosažení požadovaného tvaru. Plošné tvářeni je metoda výroby prostorových výrobků z plochého materiálu například plechu a převládají zde deformace pouze ve směru dvou os. Obecně platí, že pro plošné tvářeni lze použít lisy s otevřeným rámem, které dosahují nižší tuhosti než stroje s uzavřeným rámem určené spíše pro objemové tvářeni.[4]

Cílem plošného tvářeni je vždy vytvořit z polotovaru požadovaný tvar dílu tak, aby jej bylo nutné jen minimálně obrábět nebo ještě lépe aby jej nebylo potřeba vůbec obrábět. Přesných rozměrů a tvarů se docílí používáním různých zápustek, do nichž je materiál vtačen. Výhodami tvářeni je především vysoká produktivita práce, dobrá rozměrová přesnost a lze jím dosáhnout také vysokého využití materiálu, kde odpad tvoří jen 5 až 10 % v porovnání s obráběním, kde odpad tvoří až 40% z celkového objemu polotovaru.[5]

3.1 Princip tvářeni

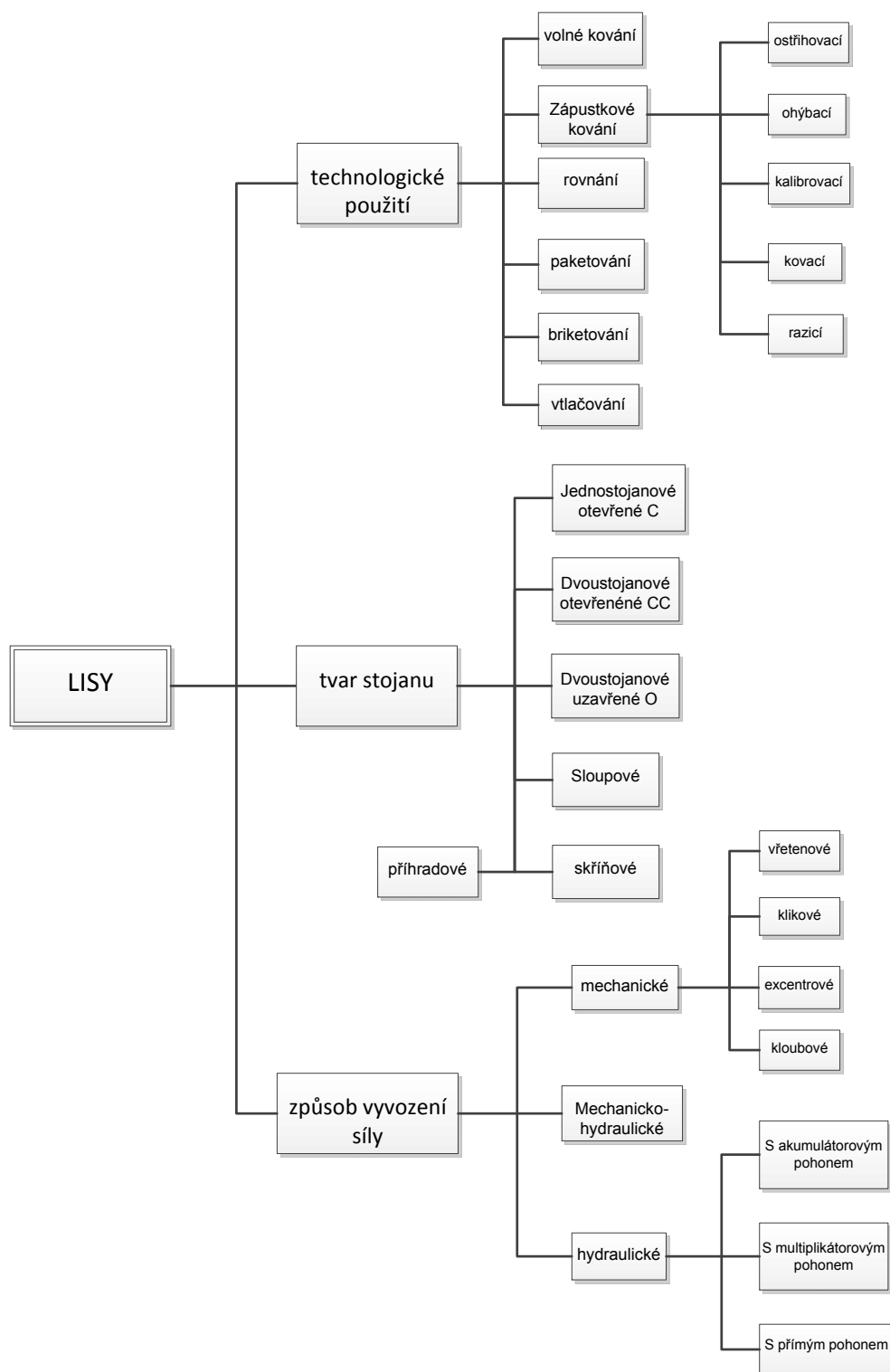
Podstatou tvářeni je vznik plastických deformací materiálu, které nastanou v okamžiku, kdy se dosáhne napětí odpovídající mezi kluzu daného materiálu. Plastické deformace vznikají z pohledu vnitřní struktury prostřednictvím pohybu dislokací, což jsou poruchy krystalové mřížky, které vedou k deformačnímu zpevňování daného materiálu. Zpevňování je vždy spojeno s omezením pohyblivosti dislokací. Během tvářeni dochází k postupnému zastavování pohybu dislokací a tím se deformační odpor materiálu zvětšuje a materiál se zpevňuje. Jakmile dojde k zablokování pohybu všech dislokací, materiál je deformačně zpevněn a není možné jej dále tvářet, aniž by došlo k nežádoucímu porušení jeho vnitřní struktury. U takto zpevněného materiálu se dosáhne zlepšení některých jeho mechanických vlastností, především se zvyšuje mez kluzu a mez pevnosti ale naopak dochází ke snižování tažnosti.[6]

Pokud by však bylo potřeba materiál znovu dále tvářet, je nutné pro obnovení možnosti vzniku dalších plastických deformací přimět dislokace k pohybu. To je možné provést například dodáním tepelné energie do materiálu. Poté co dodáme materiálu dostatečnou tepelnou energii, dislokace opět začnou pohybovat, ovšem nyní po jiných kluzných rovinách než předtím. Plastické vlastnosti materiálu, tedy i deformační odpor, se v závislosti na teplotě podstatně mění, a to tak, že se zvyšující se teplotou tvářeného materiálu zpravidla klesá jeho deformační odpor. Jinými slovy zvyšuje se jeho tvárnost. Tvářeni při těchto teplotách a rychlostech deformace, kdy uzdravovací procesy probíhají současně s deformací, se označuje jako tvářeni za tepla. V opačném případě, kdy neprobíhají tyto uzdravovací procesy jako je zotavení a rekystalizace, jde o tvářeni za studena.

4 Hydraulické tvářecí stroje

4.1 Rozdělení lisů

Na níže uvedeném obrázku 3.1 je znázorněno rozdělení lisů podle třech kritérií. Technologické použití rozděluje lisy podle operací, které na nich lze provádět, tvar stojanu poskytuje informace o konstrukci lisu, a způsob vyvození síly rozlišuje lisy podle pohonu.



Obr. 3.1 : Rozdělení lisů podle kritérií

4.2 Přehled hydraulických lisů

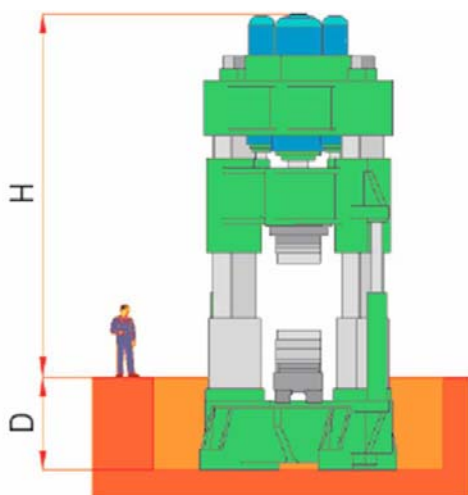
Hydraulický lis je strojní zařízení, které slouží k objemovému ale i plošnému tváření materiálu. Hydraulické lisy lze rozdělit do dvou základních skupin a to podle konstrukčního provedení a podle technologického využití. Vzhledem k zaměření a rozsahu této práce bude pozornost dále věnována rozdělení lisů podle konstrukčního provedení. Pro ilustraci budou uvedeny příklady základních typů strojů lišících se právě typem konstrukce. Podle konstrukce se stroje vzájemně liší typem rámu, orientací konstrukce, umístěním a druhem pohonu. Rozdělení podle typu rámu strojů je podrobněji věnována kapitola 5.1.

4.2.1 Rozdělení lisů podle umístění pohonu

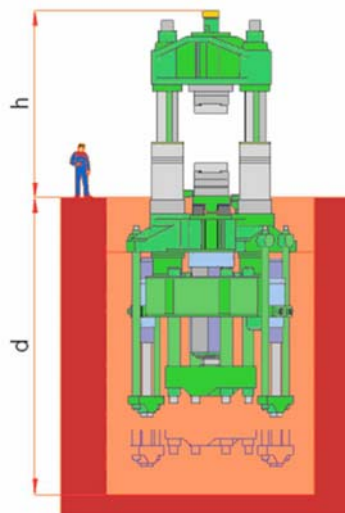
Pohon hydraulických lisů může být buď horní nebo spodní. Častěji se však lze setkat s lisy s horním pohonem obr. 3.2, které na rozdíl od lisů se spodním obr. 3.3 zaujímají více prostoru do výšky, kdežto lisy se spodním pohonem mají veškerou hnací soustavu s pracovními válci ukrytou v šachtě pod podlahou, a o to menší prostor zabírají nad zemí. Dalším rozdílem je že u lisu se spodním pohonem vykonává pohyb rám a střední část je nepohyblivě fixovaná do základu. Nevýhodou lisů se spodním pohonem je špatná přístupnost k pohonnému systému stroje a nutnost poměrně velké hloubky základu. Naopak výhodou je zachycení kapaliny při jejím možném úniku.[7]

Lisy s horním pohonem se někdy označují jako horno-tlaké, a lisy se spodním dolů-tažné. Výhodou lisů s horním pohonem je snadná přístupnost k pracovním válcům a veškerým pohyblivým částem pro potřebu údržby, seřízení stroje nebo jeho opravy. Nevýhodou lisů s horním pohonem je možnost požáru při úniku provozní kapaliny a jejího kontaktu s rozžhaveným polotovarem.[7]

Pro pohon hydraulických lisů může být použito buď dvojčinného pístu, který zajišťuje také zvedání nástroje, nebo plunžru umožňujícího pouze pracovní pohyb vpřed. Pokud je součástí hydromotoru plunžr, který umožňuje pohyb pouze jedním směrem, je na rozdíl od konstrukce s dvojčinným pístem nutné použít samostatný píst. Samostatný píst navrací plunžr společně s nástrojem zpět do výchozí polohy a má podstatně menší rozměry, neboť potřebná síla na zvedání pohybujících se částí je relativně malá v porovnání s lisovací silou.



Obr. 3.2 : Horní pohon [8]



Obr. 3.3 : Spodní pohon [8]

4.2.2 Rozdělení lisů podle orientace rámu

Orientace rámu stroje může být buď vertikální, nebo horizontální. Každý z těchto rámu umožňuje odlišný přístup k pracovnímu prostoru. Odlišnost provedení je ukázána na dvou typech rámu. Zatímco horizontální provedení stroje podle obrázku 3.6 je přístupné ze tří stran (z vrchu a ze stran), vertikální provedení na obrázku 3.4 umožňuje hlavní přístup do pracovního prostoru stroje pouze ze dvou směrů. Dále horizontální provedení na rozdíl od vertikálního provedení umožňuje snadnější přístup obsluhy po celé délce stroje, například pro výměnu a seřizování nástroje nebo pro potřebné úpravy či opravy stroje. S horizontálním provedením stroje se můžeme často setkat třeba u vstřikovacích lisů na plasty.

Srovnáme-li obě vertikální provedení uvedená na následujících obrázcích, je zřejmá jejich rozdílnost v konstrukci rámu. Vertikální provedení stroje na obrázku vlevo je typickým příkladem uzavřeného „O“ rámu, kdežto vertikální provedení na obrázku 3.5 je příkladem otevřeného rámu tvaru „C“. Je tedy jasné, že horizontálním či vertikálním provedením nesouvisí s uzavřeností rámu. Existují jak horizontální, tak také vertikální provedení otevřených i uzavřených rámu.



Obr. 3.4 : Vertikální provedení „O“ [9]



Obr. 3.5 : Rám lisu tvaru „C“ [10]



Obr. 3.6 : Horizontální provedení [11]

Na obrázcích 3.7 a 3.8 jsou zobrazeny dva různé uzavřené typy ráků. Obrázek vlevo ukazuje příklad hydraulického kovacího lisu CKW 6300 se spodním pohonem, jehož součástí je manipulátor zajišťující vyjímání rozžhaveného polotovaru z pece a jeho otáčení během tvářecího procesu. Jmenovitá tvářecí síla tohoto stroje je 65 MN. Z uvedené fotografie si lze jen těžko představit skutečné rozměry stroje, nicméně podle jmenovité tvářecí síly stroje lze přibližně odhadnout velikost stroje. Internetový zdroj pro zajímavost uvádí maximální výšku lisu 10,4m, a maximální hloubku pod podlahou 13,5m. Naopak obrázek vpravo ukazuje dílenský sloupový lis s horním pohonem, jehož rozměry jsou podstatně menší. Vedení pohyblivé části lisu je zajištěno čtyřmi válcovými sloupy umístěnými v rozích konstrukce.



Obr. 3.7 : Hydraulický lis se spodním pohonem [12]



Obr. 3.8 : Sloupový lis [13]

V praxi existuje mnoho typů lisů, které ve výrobním procesu nacházejí široké uplatnění. Jednotlivé druhy lisů se od sebe liší technologií použití a svým názvem zpravidla charakterizují operaci pro kterou jsou určeny. Mezi tyto stroje patří kovací lisy, tažné lisy protlačovací a vytlačovací lisy, paketovací, rovnací a dílenské lisy. Dále se používají lisy na zpracování kovového odpadu, lisy na plasty, lisy určené pro tlakové lití, lisy na elektrody a řada dalších. Základní princip a konstrukce jmenovaných lisů je však typově podobná lisům na výše uvedených obrázcích, a proto není potřeba uvádět fotografie jejich konkrétních příkladů. Veškeré konstrukce lisů se od sebe vzájemně liší konečným provedením a svou velikostí. Velikosti lisů se pohybují od malých dílenských lisů až po obrovské kolosy pracující s nepředstavitelně velkými silami. Konstrukce těchto lisů je vždy jen určitým způsobem přizpůsobena pro danou technologickou operaci.

4.3 Značení tvářecích strojů

Pro jednodušší orientaci a pro lepší přehled mezi tvářecími stroji se zavádí základní označení, jehož smyslem je logicky roztrždit stroje tak aby již z tohoto označení bylo jasné, přibližně o jaký typ tvářecího stroje se jedná.

Označení stroje se obvykle skládá z typového a rozměrového označení. Typové označení dále obsahuje dvě nebo tři písmena a specifikuje několik parametrů, jimiž jsou: druh stroje (např. lis, buchar), technologie použití a druh pohonu stroje.

„Typové označení je normalizováno v ČSN 20 0400 až 20 0490 a v ČSN 21 0200“ [14].

U silových strojů (hydraulických lisů) je prvním písmenem typového označení písmeno C, druhé písmeno určuje druh hydraulického lisu (zápustkový, tažný, montážní apod.), a třetí písmeno (pokud je uvedeno) udává umístění pohonu lisu. Písmeno „V“ značí, že se jedná o horní pohon, „W“ označuje spodní pohon.

U zdvihových strojů (mechanických lisů) se na prvním místě typového označení nachází písmeno L, další písmena upřesňují druh mechanického lisu. Energetické stroje (buchary) se označují prvním písmenem K. Důležitým technickým parametrem tvářecích lisů je především jejich jmenovitá síla, která většinou následuje za typovým označením stroje.

Rozměrové označení charakterizuje základní velikost (rozměry) daného stroje. Součástí označení lisu se často stává také jmenovitá síla stroje, což je maximální možná tvářecí síla stroje.

Například hydraulický kovací lis s horním pohonem bude mít označení CKV 630 a jeho jmenovitá tvářecí síla dosahuje 6,3 MN.

Označení CKW 12 říká, že se jedná o hydraulický kovací lis se spodním pohonem a jmenovitou silou 12 MN.

V následující tabulce jsou uvedeny příklady typového označení pro příslušné stroje.

Tab. 1 : Příklady označení tvářecích strojů [14]

HYDRAULICKÉ LISY (C)	MECHANICKÉ LISY (L)	BUCHARY (K)
<ul style="list-style-type: none">• CB - Lisy na plasty• CD - Montážní dílenské lisy• CL - Stroj na lití kovů pod tlakem• CN - Hydraulické nůžky• CP - Paketovací a briketovací lisy• CT - Tažné lisy• CZ - Zápustkové lisy• CZ - Zápustkové lisy• CK - Kovací lisy	<ul style="list-style-type: none">• LE - Lisy výstředníkové• LEN - Výstředníkové naklápěcí• LK - Lisy klikové• LL - Lisy kolenové• L - Lisy tažné• LU - Lisy univerzální	<ul style="list-style-type: none">• KP - Padací• KD - Parní• KE - Elektrické• KJ a KK - naklápěcí• KA - Pružinové• KB - Kompresorové

4.4 Princip hydraulického mechanismu

Princip hydraulického mechanismu je zobrazen na obr. 3.9. Jsou zde vyznačeny zatěžující síly a pasivní účinky, které zahrnují tření mezi válcem a pístem. Působení síly F_1 na malý píst vybudí v kapalině tlak p , který působí na velký píst a ten pak vyvolá sílu F_2 o velikosti: $F_2 = p \cdot S_2$. Síla F_2 je obvykle mnohonásobně větší jak síla F_1 .

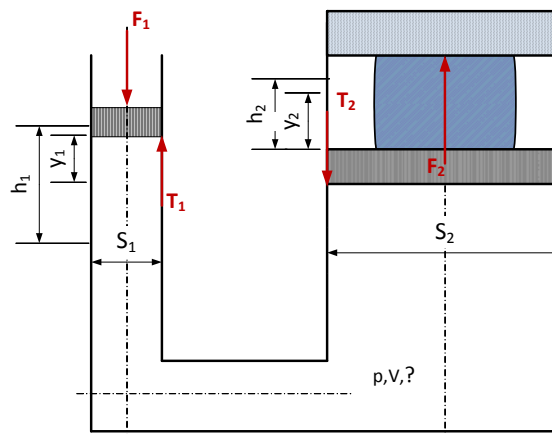
Pokud by se zanedbala stlačitelnost kapaliny, platila by rovnost objemů: $F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2$. V praxi však stlačitelnost zanedbat nelze a to zejména při vysokých tlacích.

Mezi základní charakteristické hodnoty hydraulických lisů patří hydraulický převod a mechanická účinnost. Hydraulický převod udává poměr mezi užitečnou silou a přivedenou silou a určí se pomocí rovnice (3.4.1). V čitateli této rovnice je užitečná síla vyjádřená pomocí působícího tlaku na plochu velkého pístu S_2 a od ní odečtené síly T_2 vyjadřující pasivní účinky mezi pístem a válcem. Třecí účinek od síly T_2 je nutné odečíst, neboť tento účinek se musí překonávat při pohybu pístu. Jmenovatele pak tvoří síla působící na malý píst, který vyvozuje tlak v kapalině, tato síla musí opět překonávat třecí sílu, ovšem nyní je potřeba třecí účinek T_1 přičíst protože působící síla je o tuto sílu zmenšena.

Mechanická účinnost (3.4.2) je pak poměr užitečné práce k práci přivedené. Užitečná a přivedená práce je dána příslušným integrálem, který odpovídá vykonané práci při přemístění pístu z počáteční polohy do polohy y_1 nebo y_2 . [15]

$$i = \frac{\text{užitečná síla}}{\text{přivedená síla}} = \frac{p \cdot S_2 - T_2}{p \cdot S_1 + T_1} \quad (3.4.1)$$

$$\eta = \frac{\text{užitečná práce}}{\text{přivedená práce}} = \frac{\int_0^{h_2} F_2 dy_2}{\int_0^{h_1} F_1 dy_1} \quad (3.4.2)$$



Obr. 3.9 : Princip hydraulického mechanismu [15]

4.5 Pohon hydraulických lisů

Hydraulický pohon je zařízení, jehož funkcí je čerpat pracovní médium z nádrže, naplnit a nalakovat jím hydraulické rozvody stroje. Lisovací síla vzniká prostřednictvím přiváděného tlakového média do pracovního válce hydromotoru, kde se díky hydraulickému mechanismu tlak oleje působící na plochu pístu přeměňuje na lisovací sílu. Následující odstavec je věnován principu přenosu tlakové energie od jejího zdroje až k vyvození lisovací síly.

Hydraulický pohon je nedílnou součástí pohonného systému všech hydraulických zařízení, a je jím vždy čerpadlo (hydrogenerátor), dodávající hydraulické soustavě kapalinu v požadovaném množství a tlaku. Z maximálního tlaku, který dokáže hydrogenerátor vyvodit, vzniká v hydromotoru maximální lisovací síla namáhající rám stroje. Hydrogenerátor je poháněn zpravidla elektromotorem, případně spalovacím motorem, a pracuje na principu přeměny mechanické energie hydrogenerátoru na energii tlakovou. Tlaková energie pracovního média prochází dalšími součástmi hydraulické soustavy (filtry, ventily, čidla apod.) a následně se dostává do pracovního pístu hydromotoru, kde se tlaková energie přemění opět na energii mechanickou.[2]

Pracovním médiem je zpravidla speciální hydraulický olej (minerální nebo syntetický) určený pro hydraulická zařízení. Je důležité dodržet, aby hydraulický stroj pracoval vždy s médiem, které bylo pro daný stroj určeno výrobcem, neboť vlastnosti používaných kapalin se od sebe liší a to například viskozitou mazacími vlastnostmi nebo teplotní odolností. Dalšími požadavky na pracovní kapaliny jsou dobrá těsnicí schopnost, dobré mazací vlastnosti, chemická stálost odolnost proti stárnutí, dostupnost a nízká cena. Nutno podotknout že u některých strojů může být pracovním médiem i vodní emulze a to právě díky její nízké ceně a dobré dostupnosti. Emulzní pracovní médium se používá zejména u velkých tvářecích strojů, kdežto minerální oleje spíše u středních a menších strojů.[2]

Hydraulický systém stroje se skládá z mnoha elementů, jimiž jsou různé druhy ventilů (pojistné, plnicí, přepouštěcí, redukční, proudové), rozvaděče (šoupátkové, ventilové), čističe a chladiče kapaliny, snímače tlaku.[2]

Dalším doplňkovým prvkem hydraulického systému je zařízení zásobující obvod určitým množstvím pracovního média a zároveň jeho konstantním tlakem. Takovéto zařízení se nazývá akumulátor. Dalším zařízením je multiplikátor násobící tlak pracovní kapaliny dodávaný hydrogenerátorem. Hydraulické lisy lze podle druhu pohonu dělit na lisy s přímým pohonem, nepřímým pohonem (akumulátorovým) a multiplikátorovým. O volbě druhu pohonu rozhodují činitelé vycházející z požadavků na stroj. Volbu pohonu ovlivňují kromě pracovního režimu stroje také následující hlediska: [2]

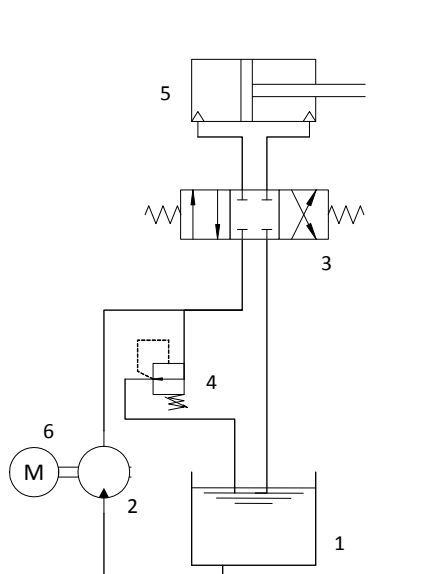
- požadavek velkého výkonu
- požadavek jednoduché obsluhy
- požadavek jakosti práce
- spolehlivost a trvanlivost pohonu
- požadavek bezpečnosti práce
- požadavek malé hmoty
- cena a fyzikální parametry oleje a emulze
- univerzální nebo jednoúčelové uplatnění stroje

4.5.1 Hydraulické lisy s přímým pohonem

Pokud k hydraulickému obvodu není připojen žádný druh kapalinového akumulátoru, jedná se o lisy s přímým pohonem. Obrázek 3.10 znázorňuje schéma hydraulického obvodu s přímým pohonem, skládajícího se z nádrže pracovního média, hydrogenerátoru poháněného motorem, zpětného ventilu, čtyřcestného ventilu a vlastního hydromotoru. Vlastností přímého pohonu je, že tlak v hydraulickém obvodu je proměnlivý a závislý na pracovním odporu.

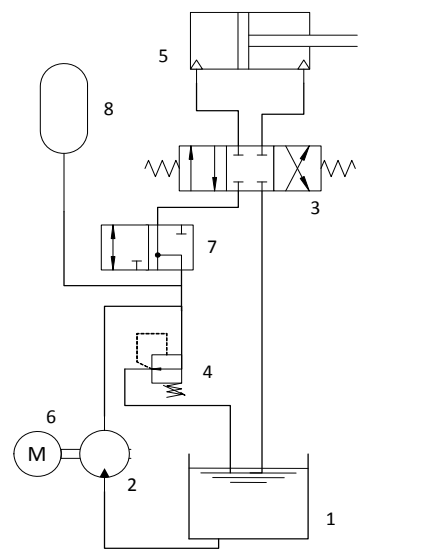
Rychlost pohybu pracovního pístu je závislá na okamžitě dodávaném množství kapaliny hydrogenerátorem. Maximální výkon hydrogenerátoru musí odpovídat maximálnímu výkonu lisu. Hydraulické lisy s přímým pohonem obecně dosahují vyšší účinnosti než lisy s nepřímým pohonem.[14]

Použití přímého pohonu má dle dostupného zdroje širší využití, a je vhodné pro programově řízené stroje s lisovací silou do 20 MN.[4]



1 - Nádrž pracovního média	4 - Zpětný ventil
2 - Hydrogenerátor	5 - Hydromotor
3 - Čtyřcestný ventil	6 - Motor

Obr. 3.10 : Schéma přímého pohonu [14]



1 - Nádrž pracovního média	5 - Hydromotor
2 - Hydrogenerátor	6 - Motor
3 - Čtyřcestný ventil	7 - Třícestný ventil
4 - Zpětný ventil	8 - Akumulátor

Obr. 3.11 : Schéma nepřímého pohonu [14]

4.5.2 Hydraulické lisy s akumulátorovým pohonem

Při provozu hydraulického stroje je vhodné zajistit plynulý odběr kapaliny a jejího tlaku do hydromotoru a taktéž odlehčit hydrogenerátoru od tlaku například když při zatížení hydrogenerátor přestane dodávat kapalinu. K tomuto účelu slouží kapalinový akumulátor, který udrží v hydraulickém obvodu stálý tlak.

Akumulátorový pohon se též nazývá nepřímým pohonem a rozlišuje dva základní typy akumulátorů. Prvním jsou akumulátory uchovávající energii v podobě kinetické energie setrvačnicku, nebo v podobě potenciální energie beranu. Druhým typem jsou akumulátory které uchovávají energii ve formě stlačeného plynu, stlačené kapaliny nebo pružiny. Schéma nepřímého pohonu znázorňuje obrázek 3.11.

Pro ekonomičtější chod hydraulického obvodu a plynulejší chod hydromotoru stroje se využívá několik druhů akumulátorů tlaku, sloužící i jako zásoba pracovního média. Vlastní akumulátor může být buď závažový, setrvačnickový, plynový nebo pružinový.[2]

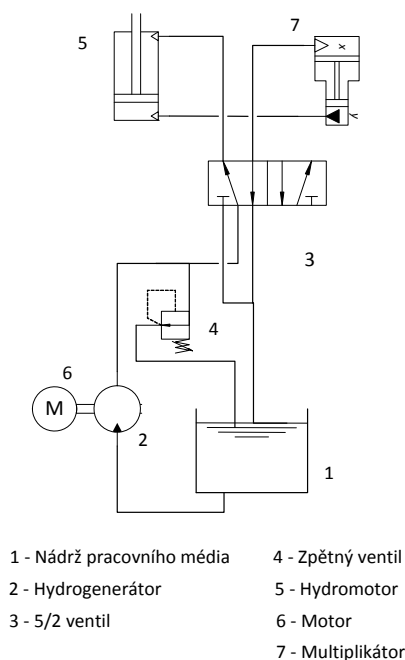
Nejrozšířenějším typem akumulátorů u hydraulických tvářecích strojů je plynový akumulátor. Plynový akumulátor je tvořen nádobou naplněnou z části kapalinou a z části plynem. Tlaková nádoba uchovává tlak kapaliny v podobě deformační energie stlačeného plynu, který je buď přímo ve styku s kapalinou, nebo je od kapaliny oddělený a to buď membránou, vakem nebo pístem.[2]

Stroje s akumulátorovým pohonem jsou charakteristické tím, že tlak mezi akumulátorem a pracovním pístem je konstantní, rychlost pracovního pístu je závislá na pracovním odporu. Hydrogenerátor vždy dodává kapalinu do obvodu s akumulátorem nepřetržitě, a to až do té doby než se akumulátor natlakuje na požadovaný tlak, poté se hydrogenerátor vypne. Akumulátor tedy umožňuje přerušovaný chod hydrogenerátoru. Díky naakumulované energii je možné v krátké době dosáhnout vysoké rychlosti pístu - až 10 m/s.[14]

Nepřímý pohon je vhodný pro velké lisovací rychlosti a u pomaluběžných lisů pro velké jmenovité síly.[4]

4.5.3 Hydraulické lisy s multiplikátorovým pohonem

Multiplikátor je zařízení představující dva spojené hydraulické mechanismy (dva válce různých průměrů) násobící tlak dodávaný hydrogenerátorem. Do pracovního válce hydromotoru je tedy dodávána kapalina o vyšším tlaku než který produkuje hydrogenerátor. Na obr. 3.12 je znázorněno schéma jednočinného multiplikátorového pohonu. Multiplikátorový pohon může být jednočinný ale také dvojčinný. Dvojčinný multiplikátor by vypadal podobně jako jednočinný, jen by byl napojen proti prvnímu multiplikátoru a umožňoval multiplikovaný pohyb pracovního pístu zpět.[2]



Obr. 3.12 : Schéma multiplikátorového pohonu [14]

4.5.4 Hydraulické lisy s kombinovaným pohonem

Zvláštní skupinou pohonu tvoří pohon kombinovaný. Jedná se o různé kombinace výše uvedených pohonů, které jsou navzájem propojeny s hydro-generátorem. Pro představu existují tyto kombinace pohonů: [2]

- kombinace dvou generátorů
- kombinace multiplikátoru a generátoru
- kombinace dvou akumulátorů a generátoru
- kombinace multiplikátoru akumulátoru a generátor

4.6 Přednosti a nedostatky hydraulických tvářecích strojů

Hydraulické tvářecí stroje se často srovnávají s mechanickými lisy. Srovnání výhod a nevýhod hydraulických lisů v porovnání k mechanickým lisům shrnuje první sloupec v tabulce 2. Sloupec vpravo uvádí obecné výhody hydraulických lisů.

Tabulka 2 : Výhody a nevýhody lisů

	Porovnání vlastností hydraulických a mechanických lisů [2 str. 141]	Obecné vlastnosti hydraulických lisů [4]
VÝHODY	<ul style="list-style-type: none"> - Dosahují vysokých tvářecích sil - Velikost pracovního zdvihu pístu lze nastavit libovolně v rozmezí celkového zdvihu - Možnost plynulé regulace rychlosti - Možnost snadného docílení konstantní síly a rychlosti při tvářecím procesu - Možnost plynulé regulace tlaku pracovní kapaliny a tedy síly - Snadná a rychlá reverzace pohybu pracovního pístu - Možnost zavedení mechanizace pomocných operací a zavedení automatizace celého pracovního cyklu 	<ul style="list-style-type: none"> - Rychlost beranu 0 - 0,25 m/s - Malá tvářecí rychlost - Jsou vhodné pro hluboké tažení - Nižší rychlost lze lépe regulovat - Hydraulický lis nelze přetížit - nepotřebuje žádné pojistky proti přetížení - Lze průběžně měřit tvářecí sílu - Síla lisu potřebná na tváření závisí na přetvárném odporu tvářeného materiálu - Pracují klidně, bez hluku a otřesů (ne však čerpadla a ventily) - Nepotřebují velký základ, jsou jednoduché na obsluhu
NEVÝHODY	<ul style="list-style-type: none"> - Horší účinnost - Složitost konstrukce pohonu - Pomalejší chod beranu a tím menší počet zdvihů - Vyšší pořizovací náklady při stejné jmenovité síle 	<ul style="list-style-type: none"> - Menší výkon - menší produktivita (nutno zkrátit vedlejší časy) - Nejsou vhodné pro zápusťkové kování malých výkovek - Nemají pevnou spodní úvrať - výšku je nutno regulovat zarážkou

5 Rámy strojů

„Rám obráběcího stroje je soustava těles, které mezi sebou přenášejí účinky všech působících statických i dynamických sil“ [16].

Podstatou každého rámu stroje je tvořit pevný základ pro ukotvení jednotlivých funkčních celků daného stroje a během výrobního procesu zachytit a přenést vznikající síly do základu stroje. Funkčními celky jsou myšleny veškeré části zajišťující pohon stroje, převod hnací síly, chlazení stroje, upnutí materiálu a další.

5.1 Materiály pro stavbu rámu

Při volbě optimálního materiálu rámu stroje rozhodují především vlastnosti stavebního materiálu a to fyzikální mechanické i technologické. Důležitou roli hraje také výrobní a ekonomický faktor. Při volbě vhodného materiálu je třeba vycházet z požadavků na samotný stroj a brát zejména v úvahu to o jaký typ stroje se jedná. Jiné požadavky na materiál rámu bude mít přesný obráběcí stroj a jiné buchar nebo lis.

Pro stavbu rámu strojů lze použít buď klasické materiály (konstrukční ocel, litinu) nebo moderní, dnes rozšiřující se nekonvenční materiály jako jsou kompozity s vláknovou výztuží, polymer-beton, vláknové a částicové kompozity, minerální litina granit, slitiny lehkých kovů, případně některé kombinace uvedených materiálů.[16]

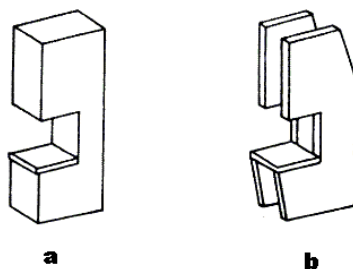
5.2 Typy rámu tvářecích strojů

Typ konstrukce rámu úzce souvisí s přesností práce stroje. Na přesnost práce stroje má do určité míry vliv to, zda se jedná o otevřený nebo uzavřený rám. Míra důležitosti požadavků uvedených v následujících odstavcích je pak na dílčím posouzení a odvíjí se podle toho, o jaký výrobní stroj se jedná.

Rámy lisů lze rozdělit podle přístupnosti pracovního prostoru lisu na rámy otevřené typu „C“ a uzavřené typu „O“). Oba typy rámu lze rozdělit podle konstrukčního provedení na rámy vyrobené z jednoho kusu, rámy dělené nebo skládané.[3]

5.2.1 Otevřené rámy strojů

Otevřené „C“ rámy se obvykle skládají ze stolu a stojin a mohou být jedno-stojanové nebo dvou-stojanové. Přístup k pracovnímu prostoru je zde umožněn ze tří stran. Na obrázku 5.1 je příklad dvou typů otevřených rámu. Vlastností otevřených rámu je to, že se jejich pracovní prostor při středovém zatížení deformuje nesouměrně, neboť dochází k „rozevírání“ rámu v jeho otevřené části. Proto se otevřené rámy používají spíše pro plošné tváření na strojích malých a středních velikostí. Naopak uzavřený rám by se díky své symetričnosti při zatížení deformoval souměrně.[3]

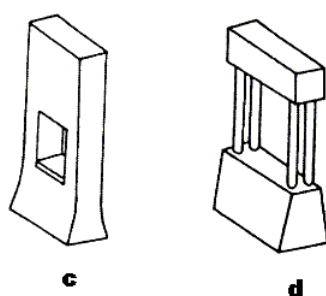


Obr. 5.1 : Otevřené rámy typu „C“ [14]

5.2.2 Uzavřené rámy strojů

Uzavřené „O“ rámy se vyznačují rámovou konstrukcí a skládají se ze stojin nebo sloupů příčnicku a stolu. Uzavřené rámy lze rozdělit na stojanové a sloupové. V rovinném uspořádání se skládají ze dvou sloupů nebo stojin a v prostorovém uspořádání ze čtyř sloupů nebo stojin. Obrázek 5.2c) zobrazuje rovinné uspořádání uzavřeného rámu a obrázek 5.2d) ukazuje prostorové uspořádání sloupové konstrukce rámu. Deformace pracovního prostoru uzavřených rámu při středovém zatížení je na rozdíl od deformace otevřených rámu souměrná a proto se častěji používají pro středně těžké až těžké stroje. Stroje s uzavřeným rámem se z tohoto důvodu velmi často používají pro plošné a objemové tváření. Otevřený rám stroje má pracovní prostor přístupný zpravidla ze tří nebo ze všech čtyř stran, uzavřený rám pak umožňuje přístup k pracovnímu prostoru pouze ze dvou stran.[2]

Další způsob rozdělení je podle výrobní technologie rámu. Rámy mohou být vyrobeny jako svařované, odlévané, skládané z lamel, nebo kombinované.[1]

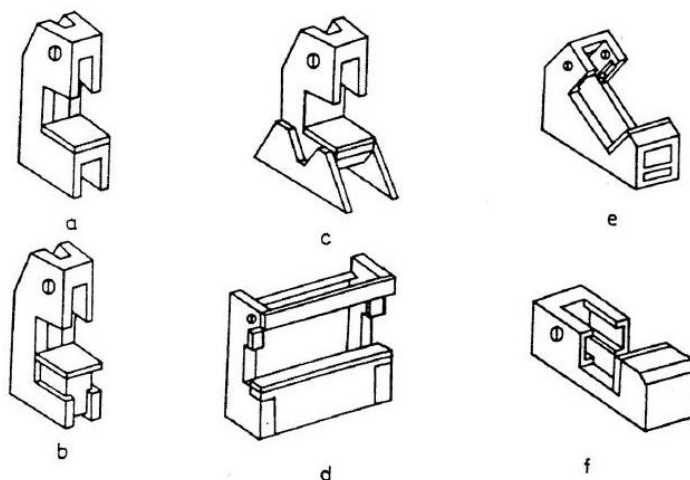


Obr. 5.2 : Uzavřené typy rámu [14]

Zvláštní variace základních typů otevřených „C“ rámu ukazuje obrázek 5.3.

Může se jednat o konstrukce:

- a) s pevným stolem
- b) s přestavitelným stolem
- c) naklápěcím rámem
- d) s širokým rámem
- e) šikmým stojanem
- f) horizontálním stojanem



Obr. 5.3 : Další typy otevřených rámu [14]

6 Přesnost práce tvářecích strojů

Každá konstrukce rámu stroje, ať se jedná o obráběcí stroj nebo tvářecí stroj, má své přednosti ale i svá omezení. Na výrobní stroje jsou kladeny požadavky ohledně vysoké produktivity a přesnosti práce stroje. Přesnost práce stroje je dána celkovou koncepcí stroje (statickou a dynamickou tuhostí, teplotní stabilitou), geometrickou přesností stroje, celkovou tuhostí, pracovním prostředím, kvalitou výroby a montáže vlastního stroje. Tato kapitola se nadále bude zabývat základními činiteli ovlivňujícími přesnost práce tvářecích strojů, a obecnými požadavky kladenými na rámy strojů.

Přesnost práce stroje je dána přesností prostorové dráhy nástroje geometrickým tvarem, rozměry a seřazením tvořící části nástroje. Přesnost prostorové dráhy nástroje souvisí s přesností, s jakou byly určité součásti stroje vyrobeny, dále je závislá na vzájemném vymezení vůlí jednotlivých komponent a určitou roli hrají také pružné deformace a natočení. Jistou míru nepřesnosti představují také geometrické úchyly stroje a nástroje. Důležité je dodržení požadované rovinnosti a rovnoběžnosti upínacích ploch beranu a stolu. Dále pak dodržení kolmosti pohybu beranu k upínací ploše stolu. Jedním ze zásadních požadavků souvisejících s přesností práce stroje je také dobrá tuhost konstrukce stroje vůči provoznímu namáhání a dobrá teplotní a dynamická stabilita rámu. Rozlišuje se několik druhů tuhosti, jsou jimi například tuhost statická nebo dynamická, tuhost v natočení, posunutí, tlaku nebo tahu. Dále se rozlišuje tuhost jedné součásti nebo skupiny součástí. Tuhost skupiny součástí se nazývá tuhost celková, a tvoří ji dílčí tuhosti jednotlivých součástí. Podrobnější informace o přesnosti práce tvářecích strojů uvádí literatura.[3]

6.1.1 Statická tuhost

Statická tuhost je míra odolnosti materiálu proti pružným deformacím. Pružné chování materiálu charakterizuje hodnota modulu pružnosti v tahu. Tuhost je obecně určena poměrem mezi zatížením a deformací v daném místě. Tuhost součásti lze ovlivnit jejím materiálem - zejména modulem pružnosti v tahu a modulem pružnosti ve smyku, a geometrií součásti. Tuhost jako taková se dá buď změřit, nebo vypočítat numerickými metodami.

Do celkové tuhosti stroje se promítá například tuhost pracovního prostoru stroje, tuhost nástroje a tuhost tvářeného polotovaru. Celková tuhost stroje je pak dána součtem jednotlivých tuhostí ovšem je nutné respektovat, zda se jedná o sériové nebo paralelní řazení jednotlivých tuhostí. Je zřejmé, že jinou tuhost bude vykazovat stroj s otevřeným „C“ rámem a jinou s uzavřeným „O“ rámem. U otevřených rámu lisů dochází při zatížení k mírnému natočení osy beranu a pracovního stolu. Výchylka je úměrná zatěžující síle a proto je pro lisy zaveden doplňující parametr úhlová tuhost, jakožto ukazatel tuhosti v natočení.[16]

Dostupný zdroj přesně uvádí jaký vliv má tuhost stroje na jeho funkci:

„Malá tuhost zhoršuje využití lisu, snižuje životnost nástrojů, zapříčiňuje velké energetické ztráty a intenzivní opotřebení jednotlivých součástí lisu“ [4].

Co se týká životnosti tvarovacích nástrojů, z praktických zkušeností plyne, že u otevřených rámu lisů, které mají na rozdíl od uzavřených rámu nižší tuhost, je životnost tvarovacích nástrojů zhruba poloviční než u lisů s uzavřeným rámem.[4]

V tabulce 3 jsou pro ilustraci porovnány vlastnosti uzavřených a otevřených rámu strojů a uvedeny příklady častého použití daného rámu pro příslušný výrobní stroj. Lisy i buchary existují v provedení otevřeného i uzavřeného rámu. Buchary s otevřeným „C“ rámem jsou však méně časté.

Tabulka 3 [16]

Vlastnosti	Otevřený rám („ C “)	Uzavřený rám („ O “)
Tuhost	horší	lepší
Manipulace s obrobkem, nástroji, obsluha stroje	lepší	horší
Omezení maximálního rozměru obrobku	menší	vyšší
POUŽITÍ	<ul style="list-style-type: none"> • LISY, BUCHARY • FRÉZKY • SOUSTRUHY • VRTAČKY • VYVRTÁVAČKY 	<ul style="list-style-type: none"> • LISY, BUCHARY • PORTÁLOVÉ FRÉZKY • KARUSELY • HOBLOVKY

6.1.2 Dynamická stabilita

Dalším požadavkem nejen pro lisy ale obecně pro výrobní stroje, je dynamická stabilita. Chod stroje vždy doprovázen nežádoucími projevy jako jsou určitá chvění a kmitání, u energetických strojů také rázy. Vznik a přenos těchto nežádoucích projevů je třeba minimalizovat a pokud možno je izolovat od okolí vhodným umístěním a uložením stroje na základ. To se týká především bucharů, které způsobují velké otřesy, jež by mohly nepříznivě ovlivnit přesnost svou i přesnost jiného stroje. Pro představu lze uvést situaci, ve které by byl například přesný obráběcí stroj umístěn do oblasti ovlivněné chvěním a otřesy. V takovém případě by přesnost stroje byla nepříznivě ovlivněna přenosem chvění ze základu. Na chod stroje mají vliv nejen otřesy od okolních strojů ale do jisté míry i vnější vlivy jako je teplota okolí, a u přesných obráběcích strojů dokonce vlhkost nebo prašnost pracovního prostředí. Avšak u mohutných tvářecích strojů nemá příliš smysl zabývat se teplotou, vlhkostí a prašností pracovního prostředí.[16]

6.1.3 Teplotní stabilita

Co se týká teplotní stability, v praxi je možné se setkat s případy, kdy obráběcí stroj byl určitou dobu v klidu, poté byl uveden do provozu a začal obrábět materiál, ten se však začal vlivem tření zahřívat a teplo z něj se začalo šířit do rámu stroje stejně tak jako teplo z motoru nebo převodovky. Vlivem délkové a objemové teplotní roztažnosti materiálu konstrukce se tak mohlo stát, že stroj začal vyrábět nepřesné součásti nebo součásti s různou přesností. Z toho důvodu je vhodné stroje, u kterých hrozí teplotní výkyvy konstruovat z materiálu s nízkým součinitelem tepelné roztažnosti. Dalším doporučením je dodržení symetričnosti konstrukce, neboť když už vlivem teploty dojde k určitým změnám rozměrů rámu a dalších součástí stroje, bude změna rozměrů díky stejnému tepelnému namáhání symetrická. Zdroje tepla mohou být buď z okolí stroje, z vlastního pracovního procesu stroje nebo to mohou být pasivní odpory ve stroji.

7 Hydraulický lis 40t

Úvodem bych rád zmínil, že hydraulický lis pochází od německého výrobce, jímž je firma Hans Klein Werkzeugmaschinenhandel. Na obrázku 7.1 je fotografie lisu, na kterém byla provedena zatěžovací analýza a jímž se bude tato kapitola nadále podrobněji zabývat. U fotografie lisu jsou uvedeny základní informace o stroji, nicméně nejedná se o oficiální údaje poskytované výrobcem, ale jsou to informace dohledávané či odměřené.

Na základě provedené rešerše v první části této práce lze stroj začlenit do následujících skupin. Zatěžovaný lis se řadí k jedno-stojanovým lisům s otevřeným „C“ rámem. Je to silový stroj s horním pohonem a přímočarým pohybem nástroje. Rám stroje tvoří svařovaná konstrukce, která je vyrobena z jednotlivých ocelových desek konstantní tloušťky, vyztužených příčkami a žebry. Lis je konstruován na maximální zatěžovací sílu 400 kN (40 tun). Přídavné komponenty lisu jsou k jeho rámu upevněny především pomocí šroubových spojení, případně nalisováním. Samotný rám stojí na čtyřech patkách, k nimž je uchycen šrouby.

Otevřený „C“ rám lisu je zatěžován silou resp. reakčními silami vznikajícími mezi horní a spodní traverzou lisu. Tato síla je vyvozována hydraulickým pístem umístěným ve vrchní části „C“ rámu a snaží se otevřenou část rámu rozevřít. Síla je přenášena na konstrukci rámu prostřednictvím horní a spodní traverzy. Horní traverza pak přenáší zatížení na píst a z něj pak na válce, který je zapřen za spodní okraj horního bloku lisu. Reakce na tuto sílu je naopak přenášena přes spodní nástroj, upínací stůl a na spodní konstrukci lisu.



Obr. 7.1 : Fotografie reálného lisu

Parametry stroje:

Druh stroje : PYE 40 N

Výrobce : Klein

Jmenovitá tvářecí síla : 40t

Rozměry pracovního prostoru:

Délka pracovní plochy stolu : 699 mm

Šířka pracovní plochy stolu : 488 mm

Rozměry stolu : 699 x 488 mm

Rozměry beranu : 450 x 361 mm

Vnější rozměry stroje:

Délka stroje : 1117 mm

Šířka stroje : 1600 mm

Výška stroje nad podlahou : 3162 mm

Výška stolu : 748 mm

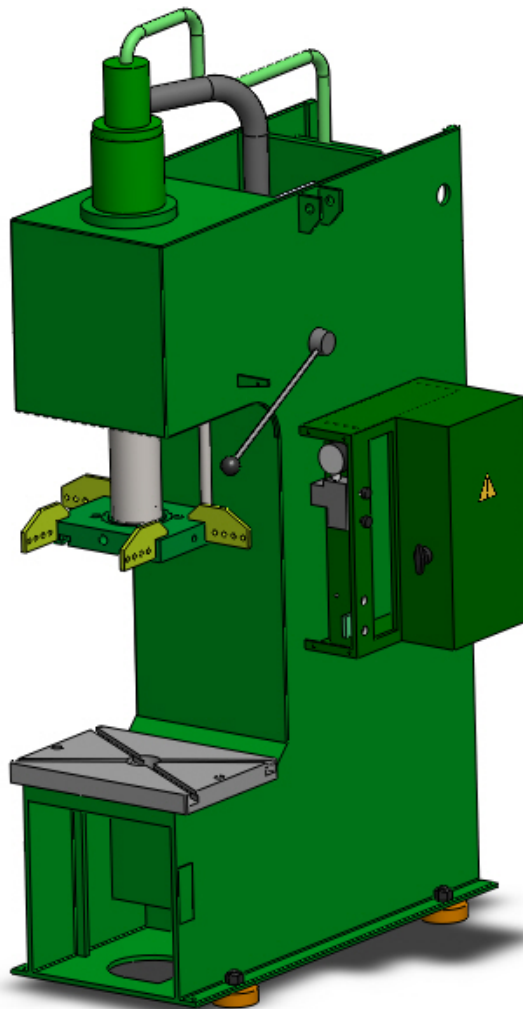
Stránky výrobce:

<http://www.klein-werkzeugmaschinen.de>

7.1 Analýza zatěžování

Účelem zatěžovací analýzy je zmapovat současný napěťový a deformační stav konstrukce rámu lisu při jmenovitém zatížení 400kN. Obrázek 7.2 zobrazuje 3D model skutečného lisu, který je přesnou kopií reálného lisu, včetně všech rozměrů a detailů. Pro vytvoření modelu lisu bylo potřeba získat jeho rozměrové parametry. Protože nebyla k dispozici žádná dokumentace k lisu, veškeré potřebné rozměry byly získány ručním měřením, za pomoci svinovacího metru a posuvného měřítka.

Tato sestava lisu je výchozím stavem pro následnou tvorbu vlastního výpočtového modelu, kterým se bude zabývat následující kapitola. Po provedení výpočtu a po jeho vyhodnocení se pak na základě zmapovaného stavu navrhnou možné varianty konstrukčních úprav rámu lisu, za účelem zvýšení přesnosti stroje.



Obr. 7.2 : Model skutečného lisu

7.1.1 Výpočtový model

„Výpočtový model úlohy v sobě zahrnuje fyzikální model, jehož prostřednictvím je úloha formulována a dále vlastní konečnoprvkový model, ve kterém je popsána geometrická podoba tělesa a je provedena jeho diskretizace“ [17].

Sestavení konečnoprvkového modelu spočívá ve zvolení typu sítě, a aplikaci této sítě na vytvořený 3D model konstrukce. Při sestavování fyzikálního modelu je třeba stanovit cíl výpočtu, protože od toho se pak odvíjí další postup tvorby výpočtového modelu. Je nutné si uvědomit, která část zatěžovaného modelu nás bude nejvíce zajímat a tomu pak přizpůsobit například typ sítě a velikost prvku sítě. Rozhodnutí o typu úlohy je jednou klíčových věcí ovlivňujících stavbu výpočtového modelu. Existuje mnoho druhů úloh, které lze pomocí MKP řešit. Jsou to například úlohy statické, dynamické, lineární a nelineární. V praxi se lze většinou setkat s nelineárními úlohami, a proto pokud se přesto uvažuje výpočtový model jako lineární, vnáší se do výpočtu určitá idealizace a to způsobí určitou odchylku od reálného stavu. U jednoduchých modelů je však odchylka minimální.[17]

V praxi existují různé druhy nelinearity výpočtových úloh. Nelinearitou lze chápat například proměnlivost vlastností materiálu s časem nebo teplotou. Prvním druhem jsou úlohy s materiálovou nelinearitou (např. materiály, pro které neplatí Hookeův zákon), dalším je úloha s geometrickou nelinearitou (Nejsou-li splněny podmínky malých posunutí a přetvoření) Pokud jsou definovány kontakty mezi tělesy a během výpočtu dochází ke změnám okrajových podmínek vztahujících se k hranicím kontaktních těles, jedná se též o nelineární úlohu. V případě, že těleso není z homogenního materiálu jedná se také o nelineární úlohu.[17]

Následně je také potřeba rozhodnout o dimenzi úlohy. V mnoha případech je výhodné zatěžovanou konstrukci idealizovat do dvourozměrového nebo dokonce jednorozměrného výpočtového modelu. Zároveň lze navíc díky symetrii konstrukce provést zjednodušení na její polovinu a počítat pouze s polovinou modelu konstrukce. V posledním kroku při sestavování fyzikálního modelu je potřeba definovat okrajové podmínky, to znamená určit velikosti a směry zatěžujících sil a uchycení tělesa v prostoru.[17]

7.1.2 Možnosti sestavení výpočtového modelu

První variantou výpočtového modelu je namodelovat lis jako klasický 3D model s přímo definovanými tloušťkami stěn, takto vytvořený model vhodným způsobem zjednodušit a na něj aplikovat síť tvořenou 3D prvky. Následně se nabízí možnost řešit buď celý model lisu, nebo využít jeho symetrie a provést výpočtovou analýzu pouze na jedné polovině rámu lisu. Využití symetrie zatěžované konstrukce je výhodné zejména tehdy, když se výpočet provádí na tvarově poměrně složité konstrukci, kterou tvoří například kombinace propojených 2D a 3D prvků, nebo u nelineárních úloh. Pokud se jedná o nelineární úlohu, je výpočet mnohem složitější, a kdyby se prováděl na celém modelu, trval by několika násobně delší čas při dosažení stejných výsledků.

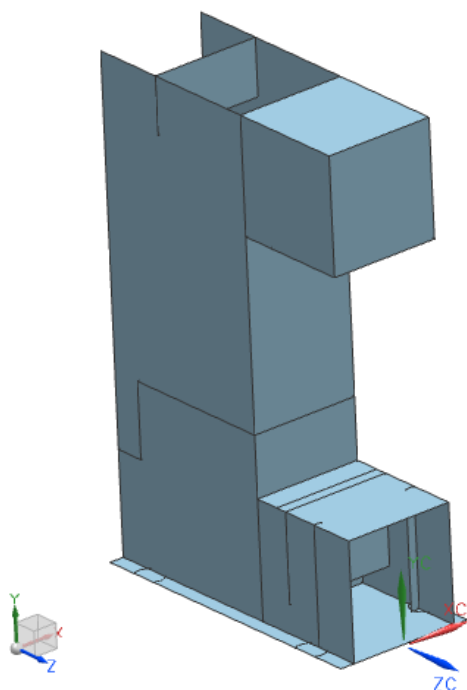
Další variantou je namodelovat lis z tzv. ploch a teprve na něj nanést síť tvořenou tentokrát rovinnými 2D prvky. Tím, že se rám lisu převede na model složený z jednotlivých desek, se výpočet značně zjednoduší a tím i urychlí. Opět je možné provádět výpočet na celém nebo jen na jedné polovině rámu lisu.

Na základě zhodnocení několika možností jak sestavit výpočtový model byla pro tuto práci zvolena druhá varianta výpočtového modelu. V druhé variantě je navržen výpočet rámu jako celku, jehož model tvoří pouze plochy, na které byly následně aplikovány rovinné prvky sítě. Tyto prvky jsou výhradně dvourozměrové (2D), a jsou nanesené na celou geometrii rámu lisu. Tato varianta neuvažuje definování kontaktů mezi tělesy, neboť to z hlediska jednoduchosti počítané konstrukce není nutné. Zvolená varianta nabízí dostatečně přesné výsledky a je navíc z hlediska časové náročnosti výpočtu obecně výhodnější, i když u takto jednoduchého modelu výpočtový čas nehraje velkou roli. Sítí tvořenou dvourozměrnými prvky se značně zjednoduší výpočet na rozdíl od sítě s 3D prvky, a tím se dosáhne výsledků za kratší výpočtový čas

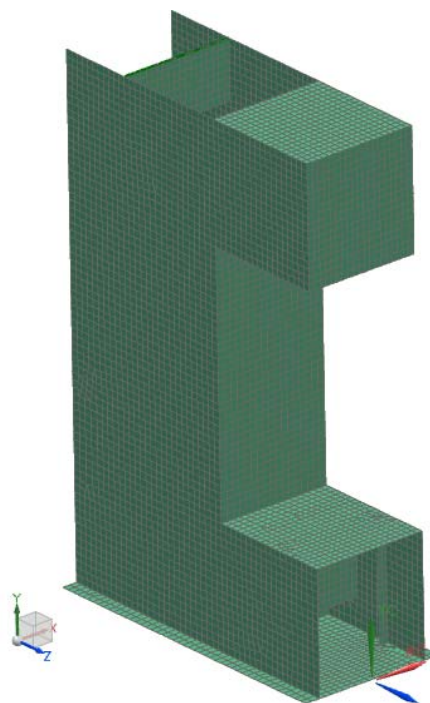
7.1.3 Popis výpočtového modelu

Vlastní model lisu byl zjednodušen odebráním všech detailů a převedením na model skládající se z rovinných dvourozměrových ploch. Mohlo by se na první pohled zdát, že zjednodušením modelu na plochy, dojde k zanedbání tloušťek jednotlivých stěn, avšak ve výpočtu tomu tak není. Zjednodušení bylo provedeno takovým způsobem, aby příslušné rovinné plochy rámu tvořili střednice původních stěn a aby každé rovinné ploše byla přiřazena tloušťka stěny odpovídající tloušťce stěny reálného lisu. Zjednodušení provedené na pracovním stole lisu zahrnuje také otvor pro připevnění upínací desky nástrojů. Fyzikální model se tedy skládá ze zjednodušeného rámu lisu.

Na model na obrázku 7.3 je aplikována síť tvořená dvourozměrnými (2D) prvky. Obrázek 7.4 zobrazuje již nasíťovaný model. Síťování dvourozměrnými prvky má i určité nevýhody na které poukazuje literatura. „Základní nevýhodou dvourozměrového prvku je skutečnost, že nelze přímo sledovat změnu napětí po tloušťce prvku.“ [17].



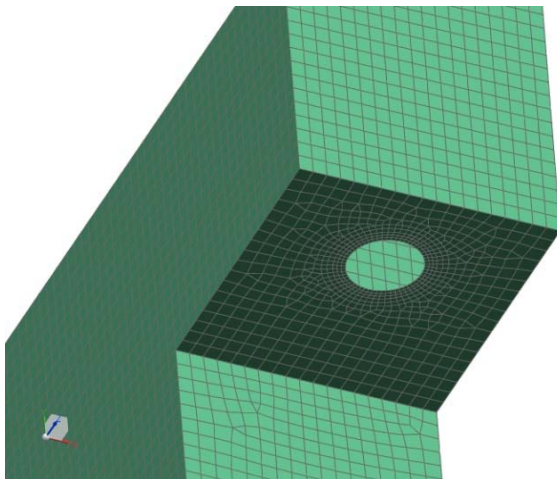
Obr. 7.3 : Model zjednodušeného rámu



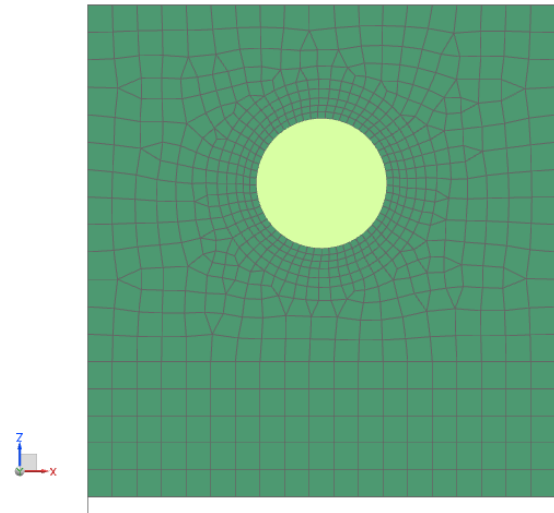
Obr. 7.4 : Nasíťovaný výpočtový model

V řadě případů je vhodné na model nanést pravidelnou mapovanou síť s konstantní velikostí elementů, které díky své pravidelnosti vytvářejí kvalitnější síť. Nevýhodou tvorby pravidelné (mapované) sítě je to, že je často nutné upravit část geometrie pracovního modelu, úpravy jsou však většinou minimální a takové, aby v podstatě neovlivňovaly samotný výpočet. Většinou se jedná o pomyslné rozdělení ploch, nebo částí tělesa tak, aby bylo možné vytvořit kvalitní mapovanou síť na nově vzniklé geometrické útvary. Síť vytvořená na modelu lisu je ovšem i tak dostatečně pravidelná a tudíž nebyla použita mapovaná síť.

Zvláštní pozornost při síťování je věnována mezikruží, na kterém působí reakční síla přenášená z válce na rám. Na obr. 7.5 a obr. 7.6 je vidět detail sítě v místě uchycení hydraulického válce.



Obr. 7.5 : Detail sítě vrchní části rámu



Obr. 7.6 : Detail sítě v místě uchycení válce

7.1.4 Definování okrajových podmínek

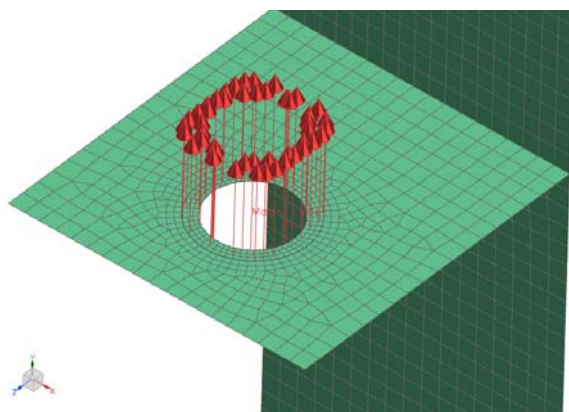
Okrajovými podmínkami se obecně rozumí definování všech zatěžujících účinků působících na výpočtový model a stanovení uchycení modelu v prostoru. Při definování upevnění modelu se odebrávají tělesu stupně volnosti. Těleso má v prostoru obecně 6 stupňů volnosti, posuv ve směru všech tří os a rotace kolem těchto os. V režimu simulace kde se definují okrajové podmínky je potřeba příslušným hranám nebo plochám zakázat některé posuvy a rotace. Vzájemná kombinace zakázaných nebo povolených posuvů a rotací se případ od případu liší a je potřeba ji nastavit tak aby odpovídala realitě. Zatížení modelu nemusí být čistě jen silové. Do zatížení modelu lze také v určitých případech zahrnout vliv vlastní tíhy konstrukce, odstředivých sil při rotaci, teplotního spádu.[17]

Pro správné definování okrajových podmínek je potřeba znát účel počítané konstrukce, její provozní, výrobní ale i montážní zatěžovací stavy. Správné definování okrajových podmínek je klíčem k docílení bezchybného průběhu výpočtu a dosažení korektních výsledků.[17]

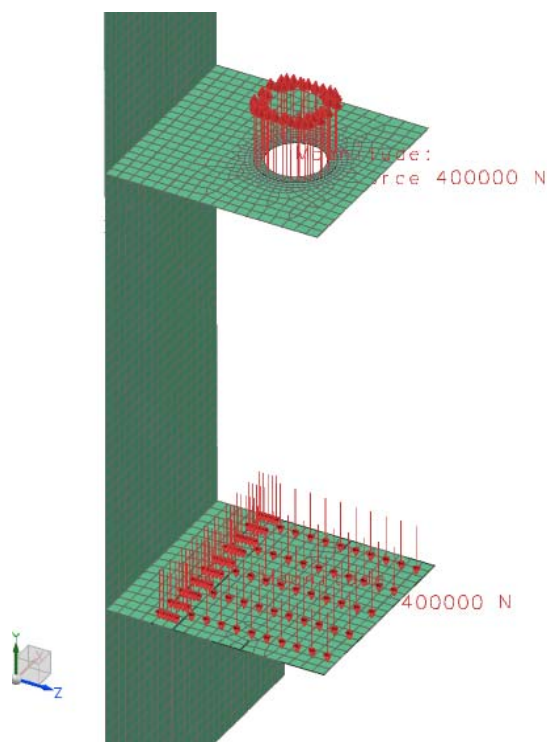
Třetí Newtonův pohybový zákon, zákon akce a reakce říká, že každá akční síla vyvolá stejně velkou opačně orientovanou reakční sílu. Pro tento případ označíme sílu působící po ploše spodního stolu lisu jako akční a sílu působící svisle vzhůru jako reakční - obr. 7.8. Obě síly jsou na obrázcích reprezentovány vyznačenými šipkami. Reakční síla, působí během tváření vzhůru na horní část rámu a je na rám stroje přenášena přes píst na válec, který je zapřen ve spodním okraji horního bloku lisu. Toto zapření je simulováno umístěním reakční síly 40 kN na mezikruží, obr. 7.7, které by představovalo přírubu válce. Tímto zjednodušením je simulován vzájemný přenos zatížení mezi spodní a horní částí stroje.

Umístěním reakční síly na mezikruží, dojde k jejímu příznivějšímu rozložení na větší plochu, než kdyby při definování okrajových podmínek byla síla umístěna po hraně otvoru nebo dokonce kdyby byla koncentrovaná do jednoho bodu v ose kruhového otvoru.

U níže uvedených obrázků je vidět pohled na jednotlivá působíště sil, přičemž některé stěny rámu byly skryty z důvodu lepší přehlednosti. Na obrázku vpravo je možné si všimnout zhuštění šipek v oblasti spodního stolu. Zhuštění šipek je pouze vizuální záležitost a neznamená to že by v zde působila větší síla, ale jedná se pouze o rozložení síly na menší plochu.

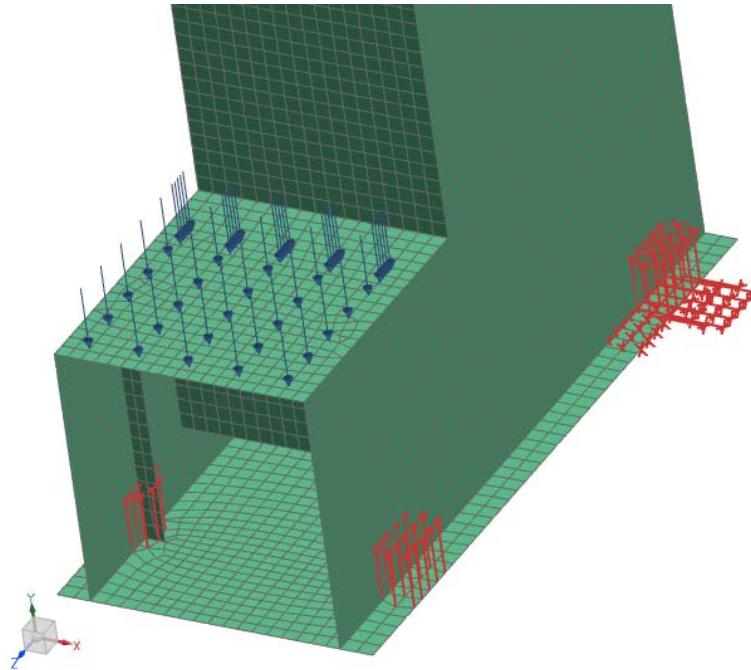


Obr. 7.7 : Umístění reakční síly na mezikruží



Obr. 7.8 : Dvojice reakčních sil

Před spuštěním vlastního výpočtu je ještě třeba nadefinovat uchycení modelu a odebrat tak příslušným plochám stupně volnosti. Konstrukce lisu stojí na čtyřech patkách přesahujících přes okraj odstavy lisu. Určitého přesahu patky si lze všimnout na úvodní fotografii lisu nebo na modelu lisu (obr. 7.2). Upevnění každé patky je proto stanoveno na ploše odpovídající promítnutí průměru patky na rám. Zadním patkám je zabráněno v posuv ve směru všech tří os a tím i zároveň zamezeno rotaci této plochy kolem těchto os. Průměty zadních patek jsou tedy pevně uchyceny v prostoru. Uchycení předních patek je provedeno zakázáním pouze rotace kolem svislé osy y . Uchycení modelu je znázorněno na obr. 7.4.



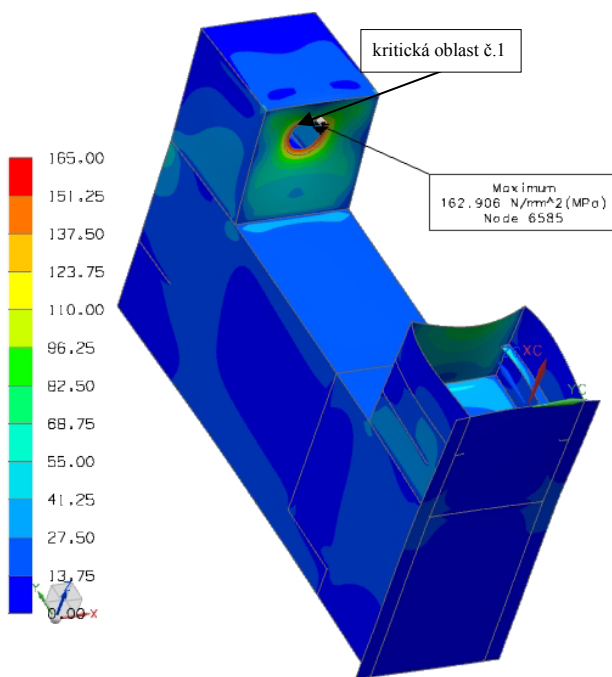
Obr. 7.9 : Nasíťovaný model s vyznačeným uchycením

Po dokončení výpočtu je vždy vhodné zkontrolovat, zda byla síť na výpočtový model nanesena s dostatečnou jemností a pravidelností. O tom zda se jednalo o kvalitní síť, vypovídá rozdíl mezi zprůměrovaným a nezprůměrovaným napětím. Pokud je rozdíl mezi hodnotou zprůměrovaného a nezprůměrovaného napětí velký nejedná se o příliš kvalitní síť a výsledky napětí se značně liší od teoreticky přesných hodnot. Platí tedy čím menší je rozdíl mezi těmito napětími, tím je výpočet přesnější. Obecně se uvádí, že hodnota rozdílu napětí by neměla být pro jednoduché bezkontaktní úlohy větší jak 10%. [17]

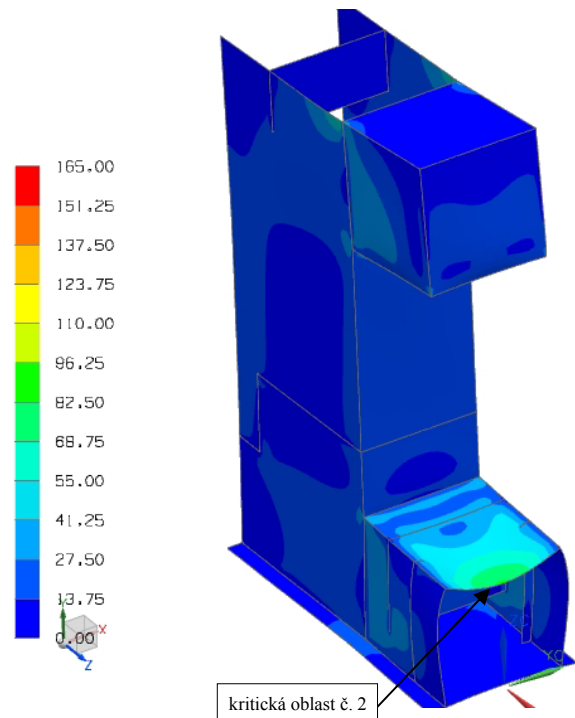
7.2 Výsledky výpočtu

7.2.1 Redukované napětí

Hodnoty zprůměrovaného redukovaného napětí jsou uvedeny podle podmínky Von-Mises (Stress – Element-Nodal). Barevné znázornění průběhů napětí je nastaveno tak aby nezobrazovalo plynulé přechody hodnot napětí, ale aby se zvýraznily ostřejší přechody mezi jednotlivými hranicemi barevných oblastí. Především nás budou zajímat oblasti kde dochází ke koncentraci napětí, tj. kritické místo č.1, místo zapření válce pístu o horní blok rámu, a kritické místo č. 2, nacházející se ve svislé rovině symetrie rámu, v místě největšího průhybu stolu lisu. Na obrázku 7.10 a 7.11 je barevně znázorněn průběh hodnot redukovaného napětí, kde maximální hodnota redukovaného napětí v kritickém místě č. 1 byla vypočtena 162,906 MPa. Hodnota napětí v kritickém místě č. 2 byla vypočtena 83,64 MPa. Kromě zprůměrovaného napětí je vhodné si všimnout také nezprůměrovaného napětí. Maximální hodnota nezprůměrovaného napětí je rovna 163,718 MPa. V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých posunutí a maximálních a minimálních napětí.



Obr. 7.10 : Zprůměrované redukované napětí



Obr. 7.11 : Druhý pohled na průběh napětí

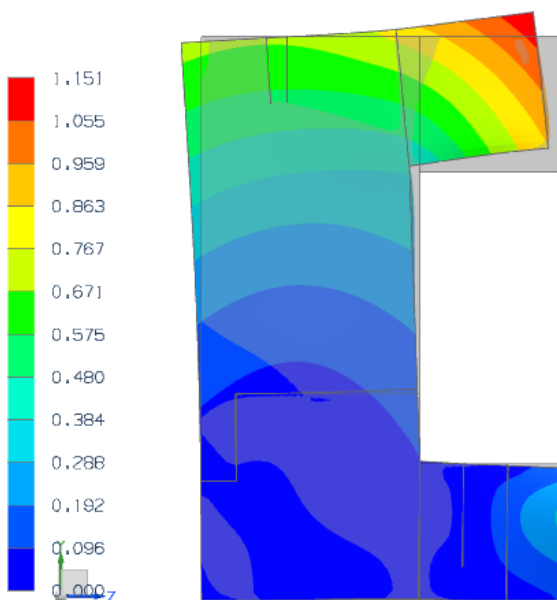
Tabulka 4 : Výstupní hodnoty posunutí a napětí

Load Case 1 : Number of Iterations = 1								
	Displacement (mm)				Stress (mN/mm ² (kPa))			
	X	Y	Z	Magnitude	Von-Mises	Min Principal	Max Principal	Max Shear
Static Step 1								
Max	2.900e-001	1.099e+000	4.433e-002	1.151e+000	NO DATA	NO DATA	NO DATA	NO DATA
Min	-2.899e-001	-7.120e-001	-8.158e-001	0.000e+000	NO DATA	NO DATA	NO DATA	NO DATA
Load Case 1 : Number of Iterations = 1								
	Stress Top (mN/mm ² (kPa))				Stress Bottom (mN/mm ² (kPa))			
	Von-Mises	Min Principal	Max Principal	Max Shear	Von-Mises	Min Principal	Max Principal	Max Shear
Static Step 1								
Max	1.629e+005	3.148e+003	1.667e+005	8.333e+004	1.656e+005	1.023e+004	7.915e+004	8.471e+004
Min	4.075e+001	-8.468e+004	-1.860e+003	2.164e+001	3.469e+001	-1.694e+005	-2.007e+003	1.938e+001

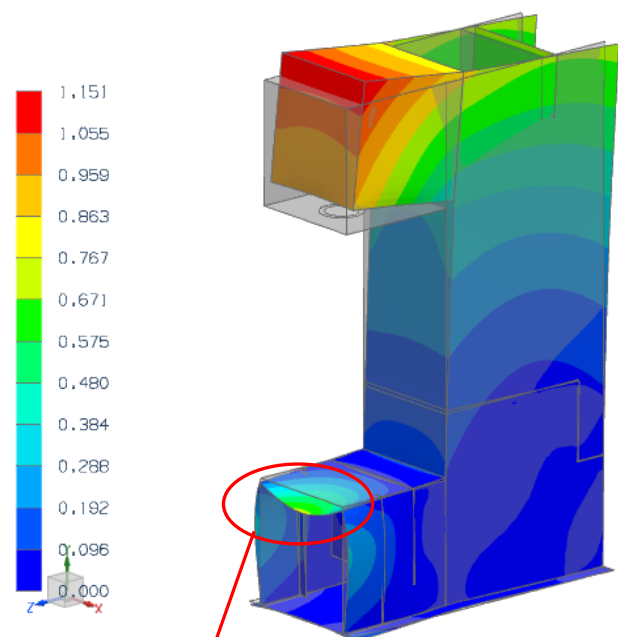
7.2.2 Posunutí v uzlových bodech

Uvedené hodnoty posunutí uzlových bodů nanesené sítě jsou zde uvedeny jako hodnoty celkových posunutí (Displacement-Nodal, Magnitude). Na obrázcích 7.12 a 7.13 je vidět grafické znázornění průběhu celkového posunutí jednotlivých uzlů sítě. Na prvních dvou obrázcích je šedou barvou naznačena původní poloha rámu. Obrázky 7.14 a 7.15 pak zobrazují detailnější pohled na horní a spodní část rámu.

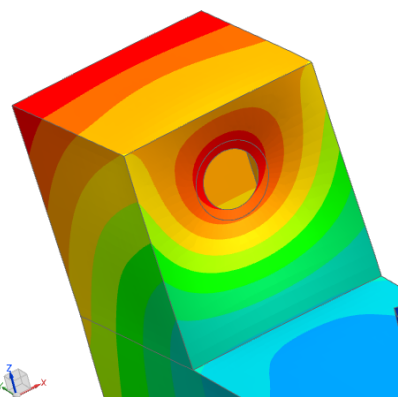
K maximálnímu posunutí uzlů oproti jejich původní poloze dochází v červeně zbarvené oblasti, kde se hodnota posunutí dle výpočtu pohybuje v rozmezí 1,055 mm až 1,151 mm. U posunutí uzlů v kritické oblasti č.1, tj. v místě zapření válce hydromotoru k rámu (obr.7.14), činí maximální hodnota 1,144 mm. Obrázek 7.15 ukazuje detailní pohled na průběh posunutí uzlů stolu v kritické oblasti č. 2, kde je zároveň maximální průhyb stolu. Posunutí uzlů v místě maximálního průhybu stolu je 0,713 mm.



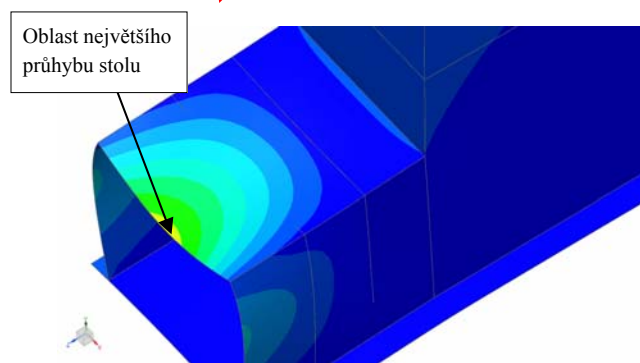
Obr. 7.12 : Posunutí u uzlů - boční pohled



Obr. 7.13 : Posunutí uzlů - izometrický pohled



Obr. 7.14 : Detail posunutí uzlů vrchní části



Obr. 7.15 : Detail posunutí uzlů stolu

7.3 Hodnocení výsledků výpočtu

Vlastní rám lisu byl výrobcem navržen tak, aby i s bezpečnou rezervou dokázal přenést udávanou maximální lisovací sílu limitovanou výkonem hydromotoru, proto by neměli být pochybnosti o tom, zda maximální vypočtené napětí rám vydrží. Ke koncentraci napětí logicky dochází v místech maximální deformace (průhybu) rámu lisu.

Při zatížení rámu lisu tvářecí silou, dochází vždy nejen k vzájemnému vymezování vůlí jednotlivých částí, ale také vznikají pružné deformace zatěžovaných částí. Výsledné hodnoty posunutí jednotlivých uzlů sítě reprezentují teoretické hodnoty pružných deformací rámu.

Na výše uvedených obrázcích 7.12 a 7.13, ukazujících průběh posunutí uzlů, je na první pohled vidět deformace rámu oproti původní poloze. Je třeba upozornit, že vizuální zobrazení deformace slouží jen k demonstrování toho, jakým způsobem se konstrukce rámu deformuje, a nevypovídají nic o skutečných hodnotách deformace. Nelze tedy z vizuální stránky průhybů částí rámu vyvozovat závěry. Podstatné jsou vypočtené hodnoty a barevné rozložení těchto hodnot na rámu lisu, které by se měli blížit reálnému stavu, kdy lis bude zatěžován jmenovitou silou 40kN. Podle barevné škály posunutí dochází k největšímu posunutí uzlů v oblasti vrchního okraje otevřeného rámu lisu. K značnému posunutí uzlů dochází také v místě zapření válce hydromotoru a v ose upínacího stolu.

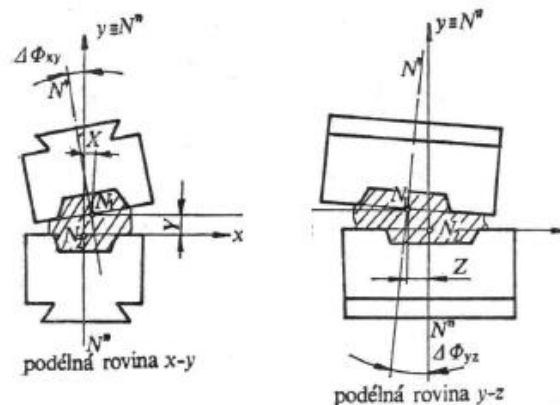
Aby se snížily deformace rámu stroje, je potřeba zvýšit tuhost konstrukce vhodným umístěním výztuh. Výztuhy je výhodné umístit zejména do oblastí, kde vznikají maximální deformace a výchylky rámu z původní polohy.

8 Návrhy optimalizačních řešení

Cílem optimalizačního řešení je navrhnout na základě dosažených výsledků v předchozí kapitole možné varianty úpravy stávající konstrukce lisu pro zvýšení tuhosti konstrukce a tím i dosažení vyšší přesnosti stroje. Hlavní myšlenkou při návrhu možných řešení je docílit co nejjednoduššího a zároveň účelného řešení. To znamená, že v úvahu přichází takové úpravy konstrukce, které nevyžadují zásadní zásah do rámu stroje, ale zachovávají jeho stávající stav, který pouze doplní o patřičné výztuhy. Umístění výztuh vychází ze znalosti deformačního a napětového stavu dosaženého výpočtovou analýzou při jmenovitém zatížení stroje. Proto je vhodné v oblastech největších deformací a napětových špiček navrhnout takovou úpravu, která by snížila deformaci v daných místech. Těmito úpravami může být kupříkladu vhodné žebrování, zesílení stěn, či stažení konstrukce předepnutými pruty. Vzhledem k tomu že vlastní rám lisu tvoří svařovaná konstrukce, je možné bez obav navrhované výztuhy k rámu taktéž připevňovat svary.

Navrhování výztuh však může mít i své úskalí a to v tom že, zabráníme-li deformaci v určitém místě, pak v jiném místě naopak může dojít ke zvýšení napětí a deformace oproti původní a mohou tam vzniknout nové napětové špičky. Jednou z variant by mohlo být řešení umožňující snadné odstranění některých výztuh, zejména těch omezujících manipulační prostor. Potom by bylo vhodnější, kdyby příslušná výztuha byla připevněna rozebíratelným spojením, například šrouby.

Navržené úpravy jsou jen vybrané varianty možných řešení a nezahrnují detailnější pojednání o finálním tvaru výztuží, jejich rozměrech, materiálu a upevnění. Následující varianty úprav naznačují, jakým způsobem by bylo možné provést úpravu konstrukce, aby se snížily deformace rámu stroje. Cílem návrhů není přesně definovat tvar rozměry, materiál, a způsob upevnění výztuh, ale zpracovat spíše princip jakým by bylo možné provést úpravy konstrukce.



Obr. 8.1 : Vychýlení nástroje [2]

8.1 První varianta

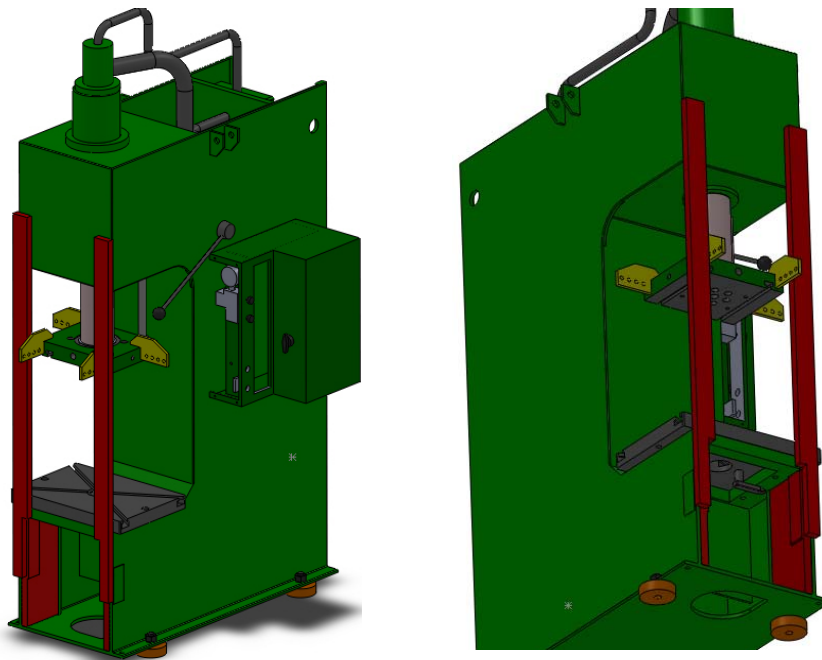
Hlavním cílem této varianty je snížit rozevírání „C“ rámu stroje a tím zvýšit jeho tuhost. První variantou návrhu je připevnit na čelní plochu rámu výztuže v podobě dvou ocelových prutů, které by zabránily rozevírání rámu stroje. Pod pracovní stůl je navrženo přivařit dvě zesilovací desky

Ocelové pruty mají za úkol omezit rozevírání rámu lisu a zároveň tím snížit napětí vznikající na zadní stěně „C“ rámu. Navrhované výztuže jsou červeně vyznačeny na obr. 8.2. Geometrie prutů je v jejich dolní části z jedné strany zúžena, aby vznikla plocha připravená ke svarovému spojení ke spodní části rámu a k přiloženým deskám. Opačný konec prutů dotýkající se horního bloku „C“ rámu by byl taktéž k rámu přivařen. Ocelové desky budou přiloženy ke stěnám pod upínací stůl, a k vnitřní části rámu budou přivařeny. Připevněním prutů na čelní plochu rámu se z otevřeného „C“ rámu stává uzavřený „O“ rám, který jak je známo má vyšší tuhost.

Důvodem proč byly zvoleny právě pruty je ten, že v této části rámu dochází k největšímu vychýlení konstrukce oproti původní poloze, což by mělo za následek také vychýlení celého hydromotoru včetně plunžru a k němu připevněné upínací desky nástroje. To že v tomto místě dochází k maximálnímu vychýlení rámu z výchozí polohy potvrzuje výpočet uvedený v předchozí kapitole. Vychýlení konstrukce rámu v tomto místě je sice zřejmé, nicméně provedený výpočet potvrzuje prvotní úvahu a udává přesně hodnoty vychýlení konstrukce.

Při rozevírání „C“ rámu stroje by mohla nastat situace ukázaná na obrázku 8.1 vlevo, kdy by došlo k vyosení nástroje z žádoucí polohy. Obrázek 8.1 vpravo ukazuje případ bočního vychýlení nástroje, které by v tomto případě mělo být zanedbatelné.

Nevýhodou této varianty je, že navrhované pruty částečně omezují manipulační prostor obsluhy při lisování i při výměně nástroje.

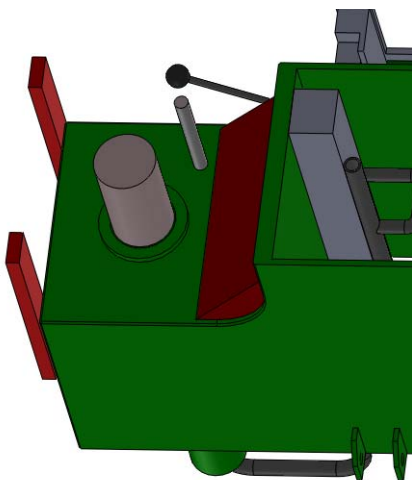


Obr. 8.2 : Výztuž rámu v podobě prutů

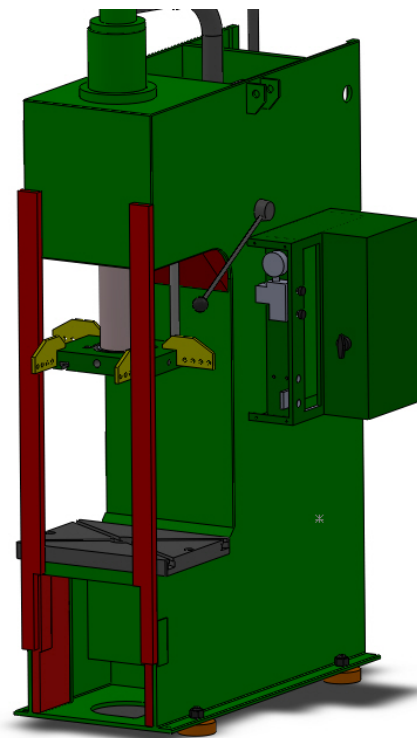
8.2 Druhá varianta

Druhá varianta znázorněná na obrázku 8.4 rozšiřuje variantu první o výztuhu v podobě trojbokého hranolu vloženého do kouta zadní stěny „C“ rámu lisu. Snahou bylo umístit hranol co nejbližší k pístu hydromotoru a zmírnit deformaci v okolí pístu. Ovšem umístění je omezeno menším zvedacím plunžrem, který nedovolí umístění hranolu blíže k pístu. Situaci v oblasti pístu a plunžru ukazuje obrázek 8.3. Hranol slouží ke snížení napětí v ostrém rohu zadní stěny rámu a zároveň částečně snižuje deformaci v místě styku příruby hydromotoru a rámu. Hranol je po obvodu styčných ploch k rámu přivařen. Příslušné hrany, které jsou ve styku s rámem, by pro kvalitní svarové spojení, museli být vhodným způsobem sražené.

Pod upínacím stolem jsou ponechány dvě ocelové desky, k nimž jsou připevněny pruty a mají stejný účel jako je popsáno v první variantě. Nevýhoda spočívá podobně, jako v předchozím případě v omezení manipulačního prostoru což může být nežádoucí nejen při práci na stroji ale také při výměně těžkého nástroje.



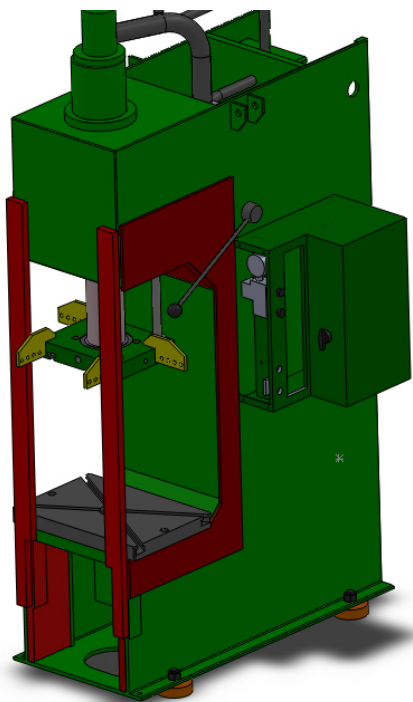
Obr. 8.3 : Detailní pohled na výztuhu



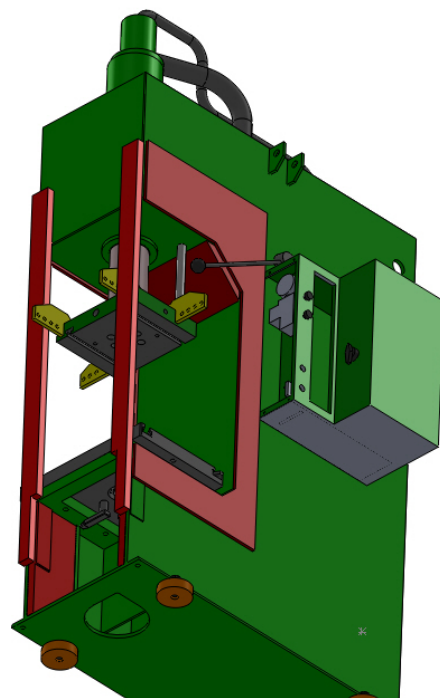
Obr. 8.4 : Výztuha v porobě prutů a hranolu

8.3 Třetí varianta

Třetí možností je předchozí dvě varianty doplnit o dvě ocelové desky kopírující „C“ obrys rámu. Podstatou přídatných desek je využít jejich průřezový modulu v ohybu, zároveň zesílit boční stěny rámu lisu, a v kombinaci s pruty přivařenými na čelní plochu omezit rozevírání celého rámu. Obrázky 8.5 a 8.6 ukazují umístění jednotlivých výtuzí. Ocelové desky se u zadní stěny rámu stýkají s hranolem a ke kterému jsou také přivařeny. Blok hranolu stejně jako v předchozí variantě, sahá co nejbliže k místu ukotvení válce hydromotoru. Má tak snížit napěťové špičky vznikající v tomto vetknutí. Nevýhodou může být to, že připevněné desky po obou stranách rámu sice napomáhají omezit rozevírání rámu, ale neřeší napěťový a deformační stav rámu v okolí pístu a v místě upínacího stolu. Nežádoucí by opět mohlo být omezení pracovního prostoru připevněnými pruty.



Obr. 8.5 : Izometrický pohled

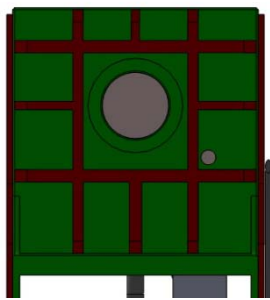


Obr. 8.6 : Spodní pohled

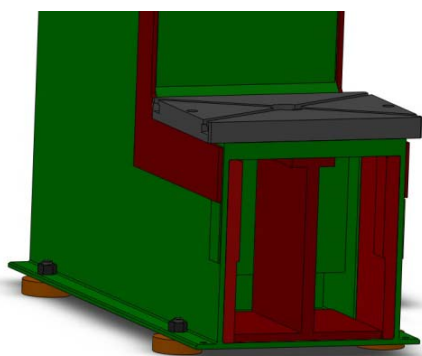
8.4 Čtvrtá varianta

Poslední navrhovanou variantou jak zvýšit tuhost rámu stroje je připevnění výztuží na kritická místa rámu, kde napětí a průhyby dosahují maxima. To znamená provést opatření v oblasti vetknutí válce hydromotoru do horní části bloku lisu a omezit průhyb upínacího stolu. Celkový pohled na navržené výztuhy ukazuje obrázek 8.8. Omezení průhybu ve vetknutí je řešeno přivařením tzv. roštu, který je tvořen sesazenými pruty obdélníkového průřezu, na koncích sraženými. Pruty obdélníkového průřezu, ze kterých je sestaven zmíněný rošt, využívají pro svou funkci průřezový modul v ohybu. Detail navrženého roštu ukazuje obrázek 8.7. Vlastní rošt by byl vyroben zvlášť, a na rám by se připevňoval jako celek. Pro jeho montáž by byla potřeba příčný prut v blízkosti plunžru buď přivařit až poté co by se rošt nasunul kolem pístu, nebo nechat střední část roštu úplně volnou.

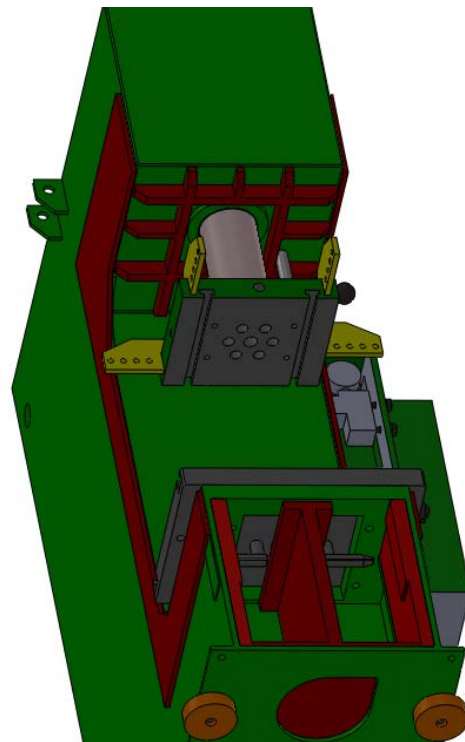
Průhyb upínacího stolu je řešen umístěním výztuže profilu „I“ pod upínací stůl. Výztuha je umístěna mezi upínací čelisti nástrojové desky. Detail zachycuje obrázek 8.9, kde je také vidět spodní podstava výztuhy sahající až k zesíleným bočním stěnám stolu lisu. Nevýhodou umístění přímo do středu upínacího stolu je, že tím dojde k zabránění možnosti použití přidavného vyhazovacího mechanismu. Výhoda na rozdíl od předchozích variant spočívá v tom, že manipulační prostor lisu není žádným způsobem omezen.



Obr. 8.7 : Výztuha v oblasti pístu



Obr. 8.9 : Výztuha pracovního stolu



Obr. 8.8 : Pohled na výztuhu stolu

ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo zmapovat stávající konstrukční stav reálného hydraulického lisu a provést na jeho rámu výpočtovou analýzu při simulovaném zatížení 40 tun. Po provedení simulace zatížení jmenovitou tvářecí silou a vyhodnocení výsledků výpočtu získaných numerickou metodou výpočtu (MKP), bylo navrženo několik možných variant konstrukčních úprav rámu lisu. Smyslem navrhovaných variant bylo zvýšit tuhost rámu konstrukce, za účelem dosažení vyšší přesnosti stroje.

Hydraulický lis je schopný vyvinout maximální lisovací sílu 400kN, což je síla při které by mělo obvykle dojít k zastavení pohybu nástroje, a současně je to maximální síla namáhající rám. Velikost této síly je limitována výkonem hydrogenerátoru, a proto výrobce navrhuje hydrogenerátor s takovým výkonem, který zajistí že nedojde k přetížení rámu stroje. Z této úvahy plyne, že vypočtené hodnoty napětí, a s ním spojené deformace rámu, lze očekávat v přípustných mezích.

Provedeným výpočtem bylo zjištěno, že maximální hodnota napětí 162,906 MPa vychází v oblasti upevnění válce hydromotoru v horním bloku rámu (obr. 7.10). Druhým sledovaným místem byla oblast okraje upínacího stolu (obr. 7.11), kde hodnota napětí dosahovala hodnot 83,64 MPa. Posunutí uzlů v místě zapření válce hydromotoru v rámu činí 1,144 mm, a posunutí uzlů v místě maximálního průhybu upínacího stolu je 0,713 mm

Na základě zhodnocení možných variant uvedených v kapitole 8, navrhuji vybrat čtvrtou variantu, kterou hodnotím jako nejlepší, neboť je to podle mého názoru v rámci možností jednoduché a účelné řešení. Zvolená varianta umožňuje díky vhodné volbě výztuže zvýšení tuhosti v obou sledovaných místech rámu (jak v místě upevnění hydromotoru, tak v oblasti pracovního stolu), a tím snižuje deformační schopnost rámu stroje. Dalším důvodem pro volbu čtvrté varianty je fakt, že neomezuje žádným způsobem manipulační prostor. Díky celkovému snížení deformační schopnosti rámu je možné docílit potřebného zvýšení přesnosti stroje. Pochopitelně se nabízí otázka, do jaké míry je zvolená varianta vhodná a účinná a zda by existovalo nějaké lepší řešení. Na tuto otázku nelze jednoznačně odpovědět a názory odborníků se mohou lišit. Každé řešení má jistě své přednosti ale i svá omezení a navržené vhodné varianty výztužení závisí také na praktických zkušenostech řešitele. Z toho důvodu vidím jako vhodný způsob dalšího postupu, a to nejen u řešení této úlohy, ale obecně při řešení technických problémů, konzultovat daný problém s lidmi ve svém okolí.

Následující postup při řešení by spočíval v definování přesného tvaru a rozměrů výztuží zvolené varianty. Dále by bylo vhodné znovu vytvořit nebo upravit již zhotovený 3D model rámu lisu a opatřit jej zvolenými výztuhami včetně jejich tvaru a přesných rozměrů. Následoval by vlastní výpočet a srovnání dosažených výsledků s výsledky získanými v předchozím výpočtu u neupravené konstrukce rámu. Po vyhodnocení a srovnání výsledků by se mohlo přistoupit například k ověření výsledků výpočtu vlastním měřením na reálném lisu.

Přínos této práce shledávám především ve vytvoření 3D modelu lisu, a zejména v jeho detailnějším propracování upínací desky a upínacího stolu, ze kterého lze zjistit parametry upínacích „T“ drážek. Upínací drážky byly změřeny posuvným měřítkem, proto jsou jejich rozměry přesné a využitelné pro další zpracování. Díky získaným rozměrům se nabízí širší možnosti pro uplatnění např. automatické výměny nástrojů a dalších pomocných zařízení. Zhotovený model lisu může také poskytnout přibližné informace o hmotnosti stroje, což může být užitečné například při budoucím přemísťování stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1]. **STANĚK, Jiří.** *Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2001.
- [2]. **BEDŘICH, Rudolf, KOPECKÝ, Miloslav.** *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce.* Praha : SNTL, 1979.
- [3]. **BEDŘICH, Rudolf, KOPECKÝ, Miloslav a kol.** *Tvářecí stroje: základy stavby a využití.* Praha : SNTL, 1985.
- [4]. **NOVOTNÝ, Karel.** Ústav strojírenské technologie. [Online] 2002. [Citace: 8. 6 2013.] <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf>.
- [5]. **HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH Jan.** *Strojírenská technologie: nauka o materiálu 1. díl.* Praha : Scientia, 1996.
- [6]. **SKÁLOVÁ, Jana, MOTYČKA, Vladislav a KOUTSKÝ, Jaroslav.** *Nauka o materiálech.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2000.
- [7]. ŽĐAS a.s. [Online] [Citace: 13. 6 2013.] Dostupné z <<http://www.zdas.cz/content.aspx?catid=29>>.
- [8]. **STANĚK, Jiří.** *Přednášky z předmětu Základy stavby výrobních strojů.* [Prezentace] Plzeň : KKS ZČU v Plzni, 2010.
- [9]. Indiamart. [Online] [Citace: 26. 5 2013.] Dostupné z <<http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=4401711562>>.
- [10]. American Machine Tools. [Online] [Citace: 26. 5 2013.] Dostupné z <http://www.americanmachinetools.com/hydraulic_press.htm>.
- [11]. Direct Industry. [Online] [Citace: 26. 5 2013.] Dostupné z <<http://www.directindustry.com/prod/mecamaq/horizontal-hydraulic-presses-57501-419638.html>>.
- [12]. ŽĐAS. [Online] [Citace: 26. 5 2013.] Dostupné z <<http://www.zdas.cz/content.aspx?id=15>>.
- [13]. ELEKTRO-HYDRAULIC AUTOMATION. [Online] [Citace: 26. 5 2013.] Dostupné z <<http://elektrohydraulic.tradeindia.com/horizontal-hydraulic-press--167661.html>>.
- [14]. **MAŇAS, Stanislav.** Výrobní stroje a zařízení: tvářecí stroje. <http://www3.fs.cvut.cz/>. [Online] 2006/2007. [Citace: 8. 3 2013.] http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf.
- [15]. **LINHART, Jiří.** *Mechanika tekutin.* Plzeň : Západočeská univerzita, 2009.
- [16]. **LAŠOVÁ.** home.zcu.cz. [Online] 28. 3 2008. [Citace: 23. 4 2012.] Dostupné z <home.zcu.cz/~lasova/ZSVS/p3.ppt>.
- [17]. **LAŠOVÁ, Václava.** *Metoda konečných prvků ve výpočtech obráběcích strojů.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2011.
- [18]. **VÁVRA, Marek.** *Ohýbání a tažení.* Praha : Adventure Works, 1432.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 : Schéma hydraulického lisu	3
Obr. 2.2 : Schéma klikového lisu	3
Obr. 2.3 : Rozdělení podle pohybu nástroje [2]	4
Obr. 2.4 : Uspořádání pracovního prostoru [2]	5
Obr. 3.1 : Rozdělení lisů podle kritérií	7
Obr. 3.2 : Horní pohon [8].....	8
Obr. 3.3 : Spodní pohon [8].....	8
Obr. 3.4 : Vertikální provedení „O“ [9]	9
Obr. 3.5 : Rám lisu tvaru „C“ [10]	9
Obr. 3.6 : Horizontální provedení [11].....	9
Obr. 3.7 : Hydraulický lis se spodním pohonem [12]	10
Obr. 3.8 : Sloupový lis [13].....	10
Obr. 3.9 : Princip hydraulického mechanismu [15]	12
Obr. 3.10 : Schéma přímého pohonu [14].....	14
Obr. 3.11 : Schéma nepřímého pohonu [14]	14
Obr. 3.12 : Schéma multiplikátorového pohonu [14].....	15
Obr. 5.1 : Otevřené rámy typu „C“ [14].....	17
Obr. 5.2 : Uzavřené typy ráků [14]	18
Obr. 5.3 : Další typy otevřených ráků [14]	18
Obr. 7.1 : Fotografie reálného lisu	21
Obr. 7.2 : Model skutečného lisu	22
Obr. 7.3 : Model zjednodušeného ráku	24
Obr. 7.4 : Nasít'ovaný výpočtový model.....	24
Obr. 7.5 : Detail sítě vrchní části ráku	25
Obr. 7.6 : Detail sítě v místě uchycení válce.....	25
Obr. 7.7 : Umístění reakční síly na mezikruží.....	26
Obr. 7.8 : Dvojice reakčních sil.....	26
Obr. 7.9 : Nasít'ovaný model s vyznačeným uchycením	27
Obr. 7.10 : Zprůměrované redukované napětí.....	28
Obr. 7.11 : Druhý pohled na průběh napětí.....	28
Obr. 7.12 : Posunutí u uzlů - boční pohled.....	29
Obr. 7.13 : Posunutí uzlů - izometrický pohled	29
Obr. 7.14 : Detail posunutí uzlů vrchní části.....	29
Obr. 7.15 : Detail posunutí uzlů stolu	29
Obr. 8.1 : Vychýlení nástroje [2].....	31
Obr. 8.2 : Výztuž ráku v podobě prutů.....	32
Obr. 8.3 : Detailní pohled na výztuhu	33
Obr. 8.4 : Výztuha v porobě prutů a hranolu	33
Obr. 8.5 : Izometrický pohled	34
Obr. 8.6 : Spodní pohled	34
Obr. 8.7 : Výztuha v oblasti pístu.....	35
Obr. 8.8 : Pohled na výztuhu stolu	35
Obr. 8.9 : Výztuha pracovního stolu	35